

SIMULAZIONE E/O SEDUZIONE (LA RAPPRESENTAZIONE MEDIANTE MODELLI DI REPERTI, RELITTI, OGGETTI ED ALTRO)

1. PREMessa

Il panorama italiano del restauro dei relitti di imbarcazioni antiche appare essere, ancor'oggi, ridotto a poche, sporadiche, spontaneistiche (se non addirittura dilettantistiche) attività di recupero e trattamento conservativo.

Pochi, invero, e quasi sempre interrotti prima del loro compimento, sono stati i tentativi di intraprendere il restauro di una imbarcazione antica in quanto parte di un più complesso ed articolato progetto di musealizzazione del reperto. Si riscontra sempre, al contrario, una progettazione parziale dell'intervento, una attenzione ai problemi conservativi più immediati del manufatto; solo in rarissimi casi si ipotizza una musealizzazione del reperto nelle condizioni ambientali più idonee alla sua futura conservazione e del tutto rispettosa della procedura di restauro seguita. Ancor più raro, poi, è il caso di strutture di esposizione opportunamente progettate: piuttosto che pensare alla progettazione di supporti favorevoli alla conservazione del manufatto (MEUCCI 1993) in alcuni casi si privilegia l'aspetto estetico, in altri (e sono quelli più frequenti) si incentra l'attenzione a ricostruzioni ideali della nave, al limite della realtà virtuale.

Proprio in questo vuoto di operatività si inserisce il presente contributo, da intendersi come sintesi di una esperienza decennale realizzata su vari fronti, ma sempre nell'intento di pervenire ad una procedura correttamente conservativa che possa consentire di attuare interventi (quasi) normalizzati per il restauro di relitti di antiche imbarcazioni.

Si tratta, in particolare, dell'uso dei modelli matematici iconograficamente fondati, nel nostro caso utilizzati per la rappresentazione di manufatti lignei complessi di interesse archeologico: sfruttando la scomposizione in unità volumetriche elementari di un relitto di imbarcazione antica si può, difatti, giungere alla sua interpretazione a fini conservativi.

2. LIVELLI DELLA MODELLAZIONE

Mediante l'uso di un modello matematico si può esprimere una rappresentazione *formale* di un oggetto qualsiasi: tale rappresentazione viene espressa in linguaggio numerico e non è determinata automaticamente dall'oggetto fisico studiato; essa esprime, piuttosto, conoscenze ed idee relative al fenomeno che, mediante modelli, viene così *interpretato* (SARTOR 1989; GOTTARELLI 1995).

Il modello geometrico (una tra le forme di rappresentazione) è sottinsieme del modello dell'oggetto. Solo l'oggetto stesso contiene, ovviamente, la totalità dei dati necessari per definire ciascuna particolare classe di problemi e per discernere ciascuna delle diverse forme di rappresentazione.

La modellazione (nelle sue varie modalità) deve partire da un problema impostato in maniera appropriata poiché l'utilità dei modelli matematici ha portata limitata allo specifico campo di applicazione: un problema nuovo spesso richiede un nuovo modello ovvero la necessità di porre sotto osservazioni variabili in precedenza non rilevate.

In generale un modello è un oggetto costruito artificialmente per semplificare l'osservazione di un altro oggetto. Non si tenta, perciò, di modellare le reali proprietà fisiche delle cose, ma di rappresentare oggetti ideali così da analizzare le loro proprietà ideali. Questo permette di raccogliere informazioni sugli oggetti reali.

È metodologicamente necessaria una chiara visione dei livelli (Fig. 1) in cui si articola la modellazione (MANTYLA 1990):

– *livello degli oggetti fisici*: tramite i modelli il nostro scopo è discutere e capire alcuni aspetti reali del mondo reale tridimensionale. L'oggetto fisico è, in questo caso, il modello del modello;

– *livello degli oggetti matematici*: per poter sperare di modellare oggetti in un elaboratore dobbiamo adottare una opportuna idealizzazione degli oggetti fisici reali tridimensionali. Questi oggetti dovrebbero avere una connessione intuitivamente chiara con il mondo reale e contemporaneamente essere geometricamente e dimensionalmente univocamente determinati e privi di ambiguità;

– *livello delle rappresentazioni*: dopo avere stabilito in modo rigoroso la classe degli oggetti matematici a cui siamo interessati il passo successivo è assegnare all'oggetto matematico una tecnica di rappresentazione appropriata agli scopi del trattamento digitale.

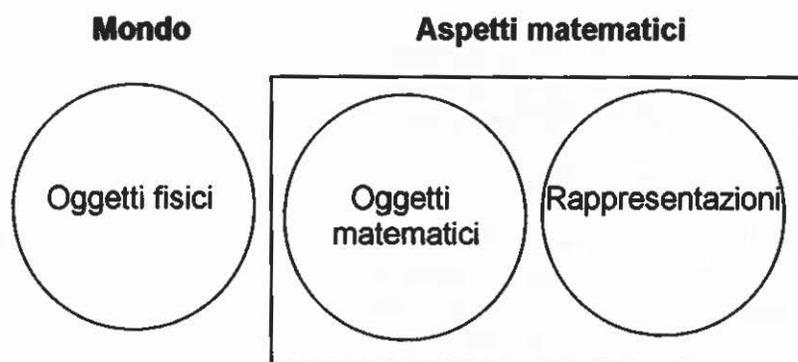


Fig. 1 – La visione a tre livelli della modellazione (tratto da MANTYLA 1990)

Lasciata da parte la immaginifica terminologia della tecnologia della computazione, il principale oggetto delle nostre sperimentazioni sono stati alcuni reperti lignei di provenienza archeologica per i quali necessitava elaborare un progetto di restauro e musealizzazione.

3. PRIMITIVE DI BASE: IL MODELLO PIANO

La effettiva applicabilità del modello del solido prescrive accuratezza e completezza nella creazione del modello grafico bidimensionale. Il singolo punto nello spazio è il più semplice oggetto che dobbiamo essere in grado di rappresentare. Per indicarne la posizione nello spazio è stato usato il sistema tridimensionale di coordinate cartesiane x, y, z .

Ciò, nel caso dei lavori di conservazione del relitto di Valle Ponti in Comacchio, ha permesso di potere utilizzare i file dei punti rilevati mediante stazione topografica integrata Leica dallo *Studio Tecnico Massimo Sabatini* di Roma. Il rilievo strumentale dei punti era stato eseguito per controllo e supporto della correttezza topografica del rilievo manuale. L'esportazione verso l'ambiente CAD è avvenuta previa conversione dei files in formato DXF.

Ma difficilmente, se non per situazioni di nuovo intervento, in cui l'intervento dei vari rilevatori è unitariamente programmabile, si può disporre o predisporre di rilievo grafico espresso già completamente in formato digitale. Per lo più si hanno a disposizione, invece, restituzioni cartacee di rilievi già eseguiti (Tav. XXXV, a).

È questo il caso della ricostruzione dell'imbarcazione arabo normanna di lido Signorino a Marsala (BUZZANCA, MEUCCI 1993). Per poter digitalizzare e manipolare il rilievo, in questo come in casi a questo analoghi, si è imposta la scelta, confermata dalle pre-esistenti disponibilità hardware e software, del file raster importabile in programma CAD mediante visualizzatore ibrido raster/vector.

Questa è la successione delle fasi d'intervento. La prima fase corrisponde alla decomposizione del modello: smontaggio ed individuazione dei blocchi e delle unità minime (bi e tridimensionali). La elaborazione della base grafica (ovvero il modello 2D dell'oggetto) è stata eseguita a partire da un rilievo acquisito con tecniche tradizionali.

La prima tavola dell'elaborato grafico originale riportava la pianta del relitto eseguito in scala 1:10 e completo di caratterizzazione dei materiali. Un secondo gruppo di tavole conteneva tutte le 40 sezioni trasversali del relitto. A parte erano state rilevati tutti i madieri e gli staminali, rappresentati tutti mediante il profilo ed una sezione eseguita in un punto ritenuto caratteristico.

Gli elaborati grafici di rilievo sono stati sottoposti a scansione con scanner formato UNI-A0 salvati in file raster nel formato RLC e visualizzati, come detto, in ambiente AutoCAD mediante l'utilizzo del software CAD-Overlay (il visualizzatore ibrido raster/vector adottato).

Questo software consente la visualizzazione e la manipolazione di immagini raster e le pone in uno pseudo-piano non gestibile dal software CAD perché allocato nella memoria video e quindi per questo assolutamente trasparente.

La vettorializzazione del rilievo è stata condotta mediante ritracciatura manuale del disegno raster utilizzando esclusivamente entità geometriche elementari bidimensionali; ciascuno degli elementi strutturalmente autonomi, ricostruito nel suo svolgersi spaziale, è stato così delimitato e circoscritto mediante polilinee.

Terminata la fase di ritracciatura le tavole digitalmente rilucidate sono state trasportate in un unico file. Mediante traslazioni nello spazio e operazioni di rotazione eseguite sulle singole sezioni quotate e sulle piante si è generata la griglia 3D di riferimento e di controllo.

I soli corsi di fasciame sono stati suddivisi in più elementi, con l'interfaccia di contatto posta in corrispondenza delle singole sezioni rilevate, stante la difficoltà di tracciare curve complesse nello spazio tridimensionale e sempre nell'ottica di operare una semplificazione e razionalizzazione del calcolo.

Non si è proceduto a vettorializzazioni automatiche per l'elevato numero di parametri e la oggettiva complicazione del rilievo di base ove l'intersecarsi di linee avrebbe comportato disturbi alla corretta interpretazione del tratto grafico.

All'interno del software di editazione raster il disegno è stato fatto oggetto di trasformazioni di scala portandolo in scala reale (assunta unità di disegno uguale a 1 cm) in modo che le dimensioni rappresentate risultassero uguali alle dimensioni reali dell'oggetto espresse in centimetri.

Il segno grafico portato a dimensioni reali è stato misurato dello spessore intorno al centimetro, con una oscillazione di più o meno di 4/10 di centimetro. L'oscillazione è dovuta alla intercettazione del segno grafico dell'elaborato cartaceo da parte dello scanner, utilizzato con una sensibilità pari a 300 Ppp.

Nelle operazioni di rilucidatura del rilievo i segmenti delle polilinee sono stati fatti passare sempre all'interno del segno grafico scansionato, lungo la mezzzeria del segno stesso. In questo modo sono state annullate, o per lo meno ridotte, le imprecisioni della scansione.

Alla scala della rappresentazione originaria del rilievo (1:10) l'errore di graficismo (che rientra in un campo valutabile intorno ai 2 decimi di millimetro) corrisponde ad uno scarto dimensionale valutabile, nel reale, di 4 mm in più o in meno.

La conosciuta indifferenza al rapporto di scala del segno grafico del CAD permette così di operare con una precisione teorica maggiore di quella insita nell'accuratezza del rilievo, nell'incertezza intrinseca dello stesso oggetto da misurare, nella precisione della restituzione (errori di graficisms), e, da ultimo, nell'affidabilità e precisione della scansione (effetto di stretching per il trascinarsi del foglio sul rullo dello scanner).

La stima dell'incertezza conseguita sulla base dei risultati ottenuti è, così, inferiore, o al massimo uguale all'incertezza programmata

Il modello 2D semplificato così ottenuto consente di operare aggiustamenti e controlli a due livelli. Da una parte, infatti, si ha la possibilità di eseguire correzioni, modifiche, integrazioni in tempo reale allorquando il modello stesso venisse utilizzato sul campo nel corso della campagna di intervento, d'altra parte si può estrapolare il singolo elemento dall'insieme e simulare su di esso gli effetti di ipotesi interpretative e/o ricostruttive elaborate in fase di studio

4. PROCEDURE DI MODELLAZIONE: MODELLAZIONE BASATA SUI SOLIDI

Il passaggio dalle rappresentazioni bidimensionali sui tre piani coordinati alla rappresentazione tridimensionale è stato realizzato mediante operazioni booleane di intersezione, unione e sottrazione delle estrusioni (proiezioni di una superficie lungo un asse) ottenute dalle singole geometrie bidimensionali (pianta, prospetto, sezioni) nella terza dimensione. La risultante della somma geometrica dei volumi descrive l'ingombro spaziale del singolo elemento rappresentato nei tre piani coordinati dalle geometrie piane.

Lo strumento per la esecuzione della modellazione è il modulo Advanced Modeling Extension (AME) modulo avanzato del software AutoCAD a partire dalla versione 11.

AME è un modellatore ibrido basato su PADL (Parts and Assembly Description Language) linguaggio di programmazione messo a punto alla fine degli anni Settanta (REQUICHA, VOELCKER 1977). La tecnica di modellazione utilizzata dal modellatore è quella della Constructive Solid Geometry (C.S.G.), per la definizione del solido e quella della Boundary Representation (B-rep) per la visualizzazione del solido.

Ogni solido sviluppato con il modulo AME contiene quindi i due tipi di informazione:

- struttura e dimensioni nel caso della CSG;
- limiti del solido o valutazione incrementale della frontiera.

La CSG adotta l'approccio a "blocchi costruttivi" per modellare solidi. Il solido risultante può essere rappresentato mediante un albero CSG (Fig. 2) costituito da primitive (punti, linee), operazioni insiemistiche (unione, intersezione, differenza) e movimenti rigidi (traslazione e rotazione) (Tav. XXXV, b).

5. PROCEDURE DI CALCOLO SUI MODELLI SOLIDI

Ciascuno degli elementi del modello composto così ottenuto è stato memorizzato in un file autonomo per essere oggetto di valutazione delle proprietà geometriche e di massa mediante un software progettato per questa applicazione specifica.

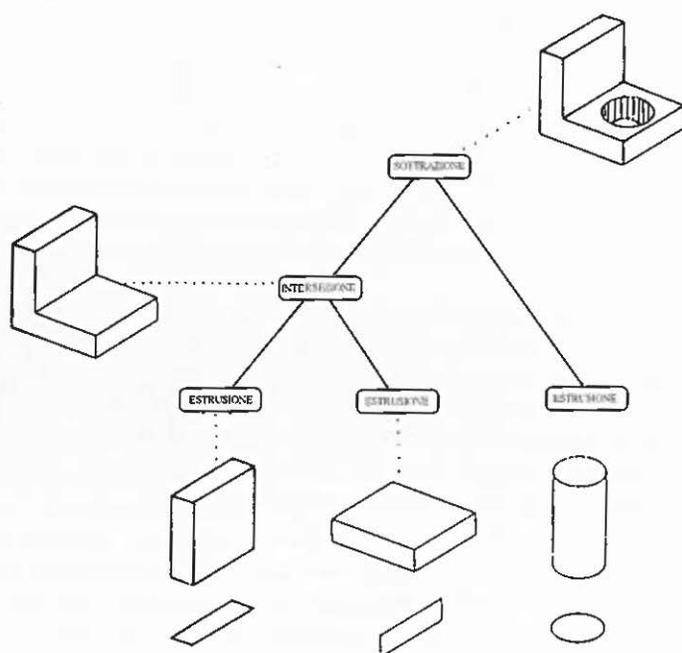


Fig. 2 - L'albero della Constructive Solid Geometry (MANTYLA 1990).

Con questo programma, dopo le opportune verifiche dei dati, il singolo elemento viene automaticamente sezionato e ne vengono calcolate tutte le caratteristiche geometriche necessarie per la successiva fase di calcolo strutturale.

Questa fase, per quanto ripetitiva e necessariamente poco attraente dal punto di vista della soddisfazione nel lavoro, è fondamentale in quanto consente di individuare i punti di maggiore sollecitazione dei singoli elementi del modello semplificato e di collegarli immediatamente al modello reale. Si viene, così, a costituire in questa fase il primo nucleo del modello matematico ad elementi determinati e finiti su cui sarà, successivamente, possibile realizzare le simulazioni necessarie alla corretta verifica di processo.

6. PROCEDURE DI MODELLAZIONE: MODELLAZIONE BASATA SULLE SUPERFICI

Parallelamente, su un'ipotesi di costruzione teorica dell'imbarcazione si è sviluppata una resa realistica dell'originale facendo ricorso ad un modellatore di superfici ed a tecniche di rendering. Il modello realistico così ottenuto rappresenta il riferimento teorico nel quale inserire il modello tridimensionale dell'esistente al fine di visualizzare, dimensionare e verificare le

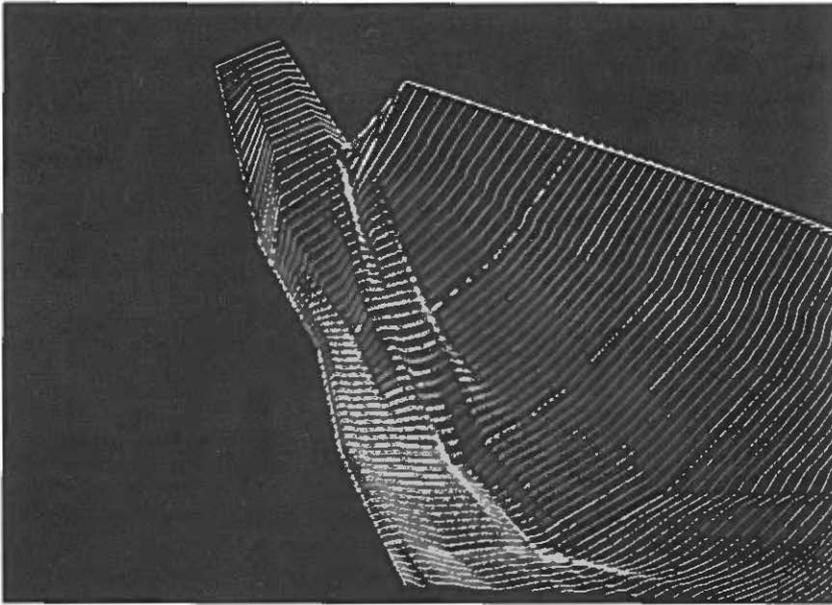


Fig. 3 - L'insieme delle sezioni trasversali chiuse sui bordi esterni (insieme dei punti estremi delle sezioni) definisce la superficie del manufatto. Particolare di poppa di imbarcazione.

strutture di supporto necessarie ad una esposizione museale secondo corretti criteri conservativi.

Si tratta, cioè, di eseguire un controllo immediato su larga scala delle sollecitazioni dell'insieme degli elementi determinati e finiti considerati non più come entità singole, ma piuttosto nella loro continuità.

Particolarmente utile risulta un controllo allorquando si esegue la congiunzione degli elementi volumetrici costituenti il singolo asse di fasciame, normalmente suddiviso in n elementi delimitati dall'interesse dei madieri successivi.

È ovvio che le proprietà del singolo elemento non rappresentano quelle dell'insieme degli n elementi di un singolo asse di fasciame, ma è anche vero che la congiunzione degli elementi comporta una variazione della disposizione dei punti di applicazione delle sollecitazioni meccaniche.

La seconda fase del lavoro ha visto l'adozione di AutoSurf come modellatore di superfici. AutoSurf utilizza una tecnologia integrata di wireframe e Nurbs (Non Uniform Rational b-splines) che offre la possibilità di descrivere superfici complesse continue. Questo software risulta estremamente efficace nella descrizione di gusci di imbarcazioni (Fig. 3).

Non sono state compiute operazioni di smoothing delle polilinee cosicché i punti di controllo coincidessero con le polilinee generatrici. Questo ha

generato una rappresentazione "scalettata" ma priva di interpolazioni o interpretazioni della polilinea di base frutto a sua volta di una discretizzazione del reale.

Dobbiamo far uso di mezzi di calcolo che ci consentono di impostare con assoluto rigore primitive nello spazio, nel rispetto dello svolgersi del reale nello spazio. Introdurre un doppio livello di interpretazione avrebbe voluto dire aumentare il grado di approssimazione del modello.

Molti, a dire il vero sono travolti dagli aspetti più appariscenti ed emozionali della modellazione tridimensionale superficiale che, come in un gigantesco luna park, può divenire l'obiettivo finale della modellazione. Altri preferiscono una rappresentazione più attinente alla realtà vera dell'oggetto e pongono così l'esteriore in secondo piano.

Noi riteniamo più utile, perlomeno in questa fase dello studio, avere disponibile un'immagine schematica che consenta di individuare in modo univoco il singolo elemento oggetto di studio e/o di controllo: solo così, infatti, è possibile imporre al modello tutte quelle variazioni dei parametri significativi atte a dimensionare esattamente le strutture di supporto e di esposizione di uno scafo antico.

7. LE RISORSE HARDWARE E SOFTWARE

Per quanto concerne la dotazione hardware e software queste ne sono le caratteristiche salienti: CPU DX 486 a 50 Mhz, HD da 650Mb, 16 Mb di Ram e scheda video TIGA Diamond, (processore Texas Instrument TMS34020) dotata di 6 Mb di Ram per le funzioni grafiche.

È probabilmente necessario operare con maggiore disponibilità di Ram della CPU poiché la memoria virtuale allocata per il programma, a causa della "pesantezza" dei disegni è stata spesso superiore, anche di molto, ai 16 Mb della Ram: le elaborazioni eseguite con AutoSurf sono arrivate ad impegnare una Ram virtuale superiore ai 22 Mb.

Oltre il limite fisico della Ram le operazioni di scrittura dei files temporanei contenenti le elaborazioni grafiche avvengono sul disco rigido con conseguente drastico rallentamento dei tempi di elaborazione.

I software utilizzati sono i seguenti:

- per la digitalizzazione del rilievo è stato adottato il software CAD Overlay (Image System inc.), versione ESP.
- per la restituzione e l'elaborazione delle primitive grafiche l'ambiente CAD è stato AutoCAD (Autodesk inc.) release 12 completo del modulo AME 2.1.
- per le procedure di calcolo sui singoli elementi del modello solido si è fatto uso del software applicativo Nave progettato per l'occasione da M.L. Tummolo.
- per la modellazione delle superfici è stato utilizzato il software AutoSurf (Autodesk inc.)

8. CONCLUSIONI

La nostra ricerca vuole verificare la possibilità dell'uso degli strumenti dell'analisi matematica condotta con il metodo degli elementi finiti su modelli restituiti graficamente con elevata verosimiglianza.

Il nostro è stato un tentativo di ricostruire, mediante elaboratore, modelli verosimili di oggetti veri senza ricadere nelle logiche settoriali della pura modellazione o/e della pura ricerca matematica. Le procedure seguite sono derivate da precise esigenze progettuali, dalle particolari soluzioni tecniche disponibili nonché dai vincoli imposti dalle risorse utilizzabili.

Occorre fare uso di quei mezzi di calcolo che consentano di descrivere correttamente, nello spazio, le geometrie elementari pur rimanendo nel rigoroso rispetto dello svolgersi del reale in quello stesso spazio. È attraverso la modellazione di superfici che si propone, con intento analitico/progettuale, uno strumento di simulazione progettuale che supera una prassi pigra e sostanzialmente mono-mediale legata agli stilemi della tradizione delle immagini suadenti e ricche solo di suggestioni e perizia calligrafica.

È così che l'uso dell'informatica non si esaurisce in una semplice spruzzata di modernità sulle tecniche tradizionali, che già per loro conto hanno un livello di maturità eccellente e non necessitano di alcuna rifondazione metodologica ma si traduce, in proficuo supporto di progettazione.

COSTANTINO MEUCCI, GIANCARLO BUZZANCA
Sezione Conservazione Materiali Archeologici Subacquei
Istituto Centrale per il Restauro (ICR), Roma

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Mario Luigi Tummolo che, nell'ambito di una consulenza sui problemi strutturali legati alla musealizzazione di relitti di imbarcazioni lignee, ha scritto appositamente per questa ricerca una routine (utilizzando i linguaggi C e Lisp) per la analisi statica delle unità elementari dei solidi realizzati.

BIBLIOGRAFIA

- BUZZANCA G. MEUCCI C. 1993, *Le navi virtuali*, in *Atti Convegno Aicographics '93*, Milano, Mondadori Informatica, 77-83.
- GOTTARELLI A. 1995, *La modellazione tridimensionale del documento archeologico: livelli descrittivi e processamento digitale*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 75-103.
- MANTYLA M. 1990, *Introduzione alla modellazione di solidi*, Milano, Franco Angeli.
- MEUCCI C. 1993, *Relitti subacquei e conservazione. Dallo scavo al progetto di restauro*, in L. MASELLI BITETTI (ed.), *Archeologia. Recupero e Conservazione*, Firenze, 51-73.
- REQUICHA A.A.G., VOELCKER H.B. 1977, *Constructive Solid Geometry*, «Tech. Memo», 25, Production Automation Project, University of Rochester.
- SARTOR A. 1989, *Un esempio di anastilosi con l'uso di strumenti informatici. La ricostruzione dei finestrini del Portale Vignolesco al Foro Romano*, Quaderni del Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo, 4, 21-28.

ABSTRACT

By using a mathematical model it is possible to express a formal representation of any object: such a representation is expressed in numerical language and is not automatically influenced by the physical object under study; rather it expresses "knowledge and ideas" relative to the phenomenon that, by means of models, is "interpreted" in this way. In general a model is an object that is constructed artificially in order to simplify the observation of another object. The intention is not to modify the actual physical properties of the things, but rather to represent ideal objects so as to be able to analyse their ideal properties. This allows the collection of information concerning real objects.

Our research intends to verify the possibility of the use of mathematical analysis conducted using the method of reconstruction of finished elements on models that are reproduced with increased accuracy; the objects of this modelling have been archaeological shipwrecks. We have attempted to reconstruct, by means of data elaboration systems, realistic models of real objects without relapsing into specific logistics of pure modelling and/or pure mathematical research. The procedures that we followed derived from precise projectual needs, from the particular technical solutions available notwithstanding the restrictions imposed by the usable resources.

It is necessary to use these calculation methods since they allow us to describe correctly, three dimensionally, the elementary geometry of the object while respecting rigorously the presence of the real one in the same space. In this way the use of information techniques is not reduced to a mere touch of modernity on the traditional techniques but becomes a meaningful support to the design procedure. This presentation shows some concrete examples and some lines of research that are presently being followed.