



MODELLI DIGITALI 3D PER LA SCULTURA

di
Giorgio Accardo

RELAZIONE SABRINA IOVENITTI

La Tecnologia digitale ha rivoluzionato tempi e modi di progettare e la sua diffusione ha modificato il modo di fare in moltissimi campi di attività fino tra cui il restauro dei Beni Culturali.

REVERSE ENGINEERING, RAPID PROTOTYPING, REALTA' VIRTUALE e MODELLI DIGITALI 3D sono le parole chiave che governano il mondo della progettazione, dall'ingegneria al mondo del restauro per la conservazione e valorizzazione delle opere d'arte, soprattutto la scultura.

Il mondo delle opere d'arte vive tra la dimensione «immateriale» della forma e la dimensione fisica in cui in cui la forma diventa materia, e come sappiamo dal buon Cesare Brandi « non si restaura l'opera d'arte ma la materia attraverso cui l'opera d'arte si manifesta e diventa percepibile».

I processi tecnologici digitali *inversi* permettono di passare dalla dimensione materiale dell'oggetto fisico alla dimensione immateriale della sua forma e quindi dal mondo delle idee a quello concreto della loro realizzazione.

Il modello virtuale di una scultura, ottenuto attraverso un processo digitale di rilievo 3D può essere utile per studiare la materia delle forme e risolutivo per la documentazione, il restauro e la conservazione.

Al fine di mantenere la memoria della forma, **il rilievo digitale 3D** che è la prima fase per creare un modello digitale, è un interessante alternativa al calco diretto perché non implica necessariamente la realizzazione di una copia, realizzata solo in extremis per ragioni conservative, dalla perdita parziale o totale dell'originale.

Può essere utilizzato per costruire modelli fisici a scopo di studio o anche per ottenere una copia fedele all'originale al posto della copia.

La realizzazione di modelli consente infine di sperimentare su questi, le nuove tecniche di restauro e di intervento conservativo per applicarle ai manufatti originali solo dopo aver ottenuto sufficienti verifiche e garanzie della loro efficacia. Inoltre i modelli digitali 3D offrono un'interessante soluzione tecnica per la ricomposizione di frammenti e la reintegrazione di lacune provocate da parti mancanti.

La struttura di tali modelli è di fatto l'archivio numerico della scultura, cioè il modello digitale 3D rappresenta la trascrizione dell'opera scultorea senza esserne una copia costituendo il miglior mezzo per salvaguardare la memoria delle forme scolpite o modellate.

Mantenere la memoria delle forme significa rallentare la velocità di degrado delle superfici scolpite e proteggerle dall'esposizione al rischio ambientale che va dall'inquinamento dell'aria agli atti vandalistici e terroristici e prima che ne venga cancellata ogni traccia si richiede la creazione di archivi numerici tridimensionali.

Il modello numerico permette di sviluppare il calcolo ad elementi finiti per eventuali interventi strutturali sull'originale, di realizzare un modello discreto ottenuto dalla definizione numerica della sua forma geometrica.

Come sottolinea Accardo il caso della statua di Marco Aurelio rappresenta in generale questa problematica e la realizzazione della sua copia mostra l'importanza, la necessità e l'utilità di questo tipo di archivi. Il modello realizzato prova la validità del procedimento che per la prima volta viene eseguito su un'opera scultorea di modellato così articolato e di tale dimensioni (4,2x4,1x2,3m).



IL PERCORSO O PROCESSO TECNOLOGICO dei più recenti sviluppi della tecnologia digitale può essere ricondotto a quattro momenti operativi dove la qualità del risultato dipende dalle modalità di impiego della tecnica utilizzata e dalle superficie di precisione e risoluzione che la caratterizzano.

Gli step del processo sono:

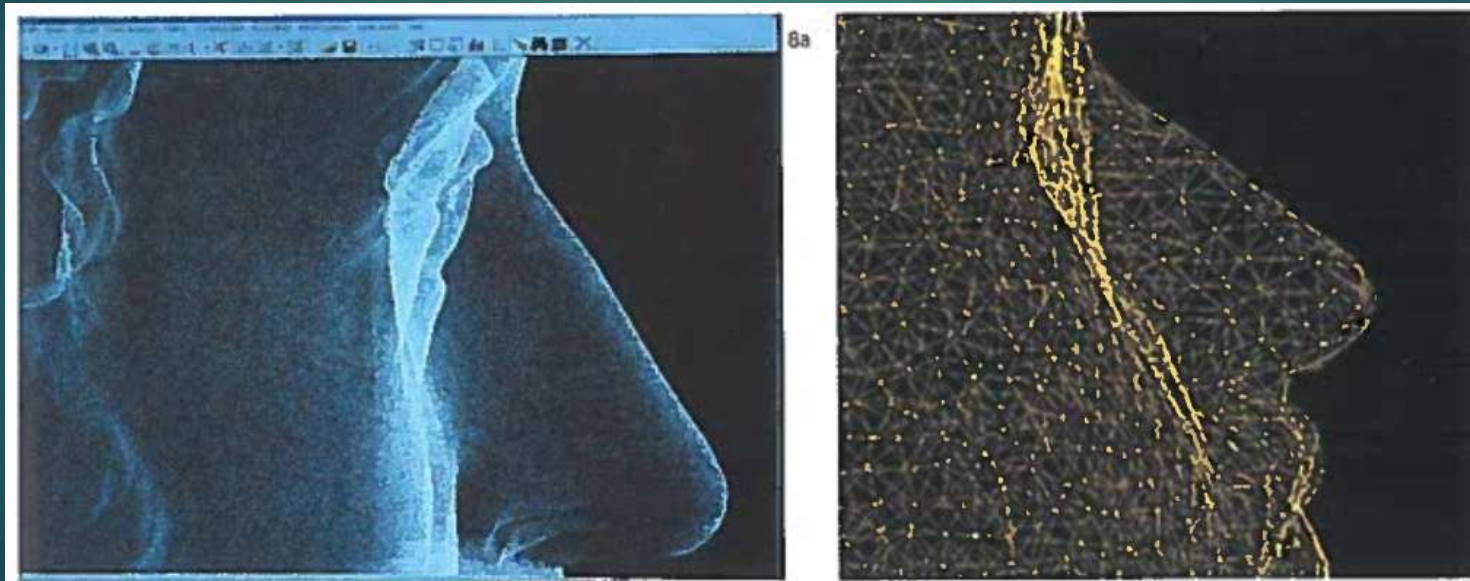
1 ACQUISIZIONE O RILIEVO DIGITALE 3D DELLA FORMA con l' acquisizione della forma di partenza e l' elaborazione elettronica e la formazione del modello virtuale. Il rilievo geometrico della scultura è considerato con lo scopo di ottenere la sua forma nella dimensione immateriale per creare un modello digitale 3D con (*REVERSE ENGINEERING*). Il termine *Reverse Engineering* (RE) è utilizzato per quelle attività che a partire da un determinato prodotto mirano ad identificare i principi, le leggi e le idee poste alla base dello stesso.

2 GENERAZIONE DEL MODELLO NUMERICO, quindi dei disegni con la visualizzazione e simulazione al calcolatore. Il modello matematico viene sviluppato attraverso il riconoscimento elettronico ,digitale del prodotto e può nascere anche da un modello fisico realizzato artigianalmente. Questo porta al concetto di inversione di flusso delle informazioni e delle attività di Ingegneria Inversa (*Reverse Engineering*).

3 REALIZZAZIONE DEI MODELLI FISICI con lo studio della sua immagine tridimensionale a differente scala e verifica del nuovo modello. La lavorazione del materiale va dalla dimensione astratta della forma alla realizzazione del corrispondente modello fisico o prototipo con il termine *RAPID PROTOTYPING*. Il termine è utilizzato per individuare i processi di lavorazione automatica che partendo dal modello virtuale permettono di realizzare velocemente il corrispondente modello fisico o prototipo.

Il processo di rilievo e la realizzazione di un modello fisico permettono questo percorso tecnologico complessivo tra quelli utili per realizzare la copia di una statua originale tramite metodo indiretto.

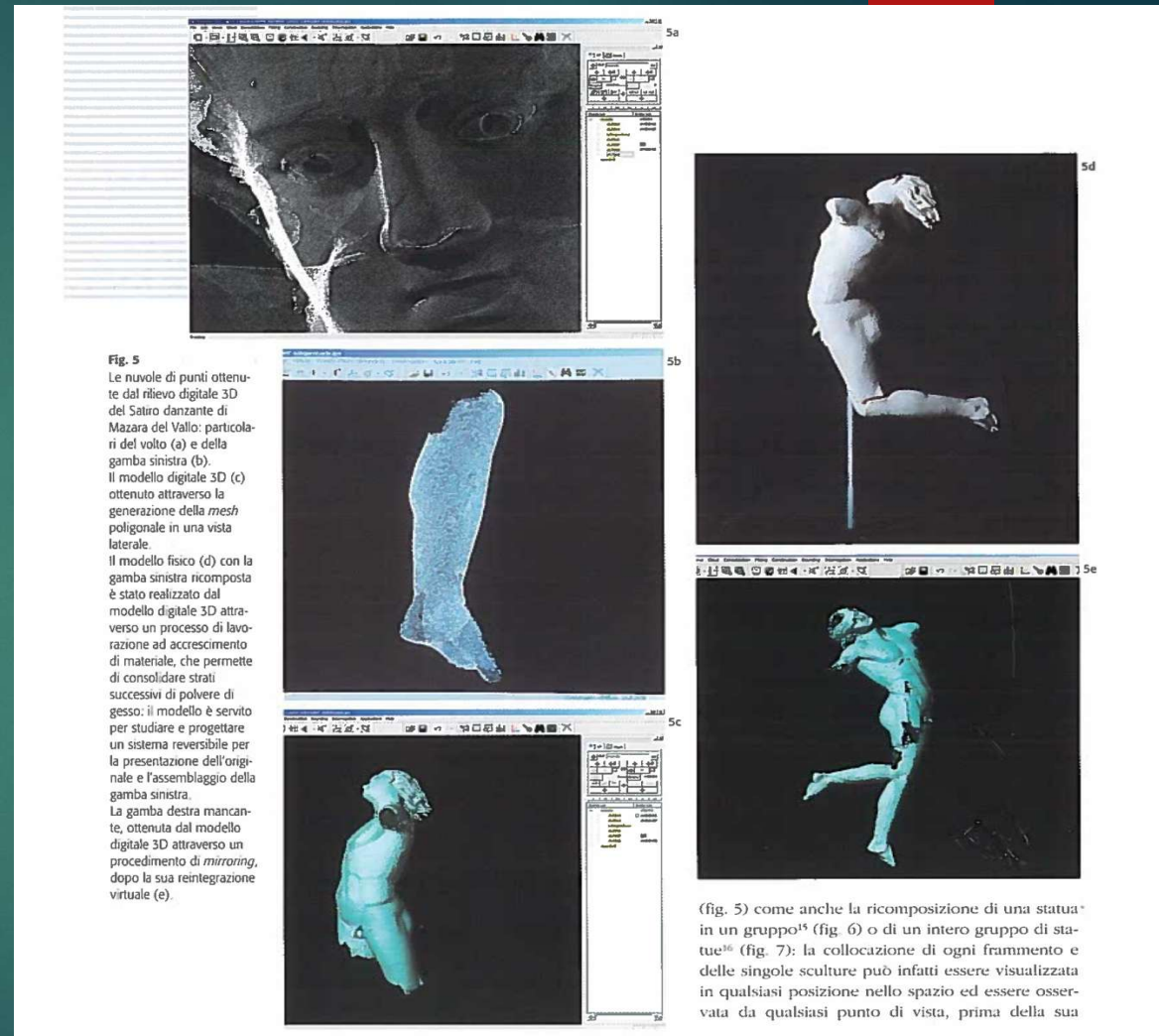
Le metodologie di digitalizzazione 3D prevedono la ricostruzione virtuale dell'oggetto a partire da nuvole di punti ricavati tramite specifici sistemi di misura che utilizzano o dispositivi meccanici a contatto con la superficie dell'oggetto o dispositivi ottici senza contatto. I dati raccolti dal sensore del dispositivo sono le coordinate XYZ dei punti discreti che definiscono e rappresentano matematicamente la forma dell'oggetto rilevato. Devono essere gestiti da programmi di modellazione solida in grado di interpretare tali coordinate per generare una rappresentazione leggibile della superficie definita attraverso la rete di poligoni che collega i punti.



- a) Le 'nuvole' di punti riunite per formare il modello numerico 3D del Marco Aurelio della collezione Ludovisi in Palazzo Altemps.
- b) Campione della superficie ottenuta attraverso la generazione e l'unione dei poligoni triangolari.

Le prime sperimentazioni di rilievo 3D nelle forme d'arte risalgono agli anni '70 con l'uso dell'Olografia in occasione del restauro della statua dell'Efebo di Selinunte a cui Accardo partecipa in prima persona. Tramite l'Olografia è possibile verificare e analizzare gli effetti di antiche riparazioni che avevano modificato la statua.

Gli ologrammi realizzati hanno permesso di sottrarre virtualmente le parti aggiunte e l'immagine tridimensionale, tramite olografia è servita per simulare ed osservare nella dimensione spaziale la forma originaria della statua. Allo stesso tempo i controlli delle sollecitazioni, eseguiti tramite interferometria olografica a doppia esposizione sul sistema di assemblaggio meccanico reversibile hanno permesso la ricomposizione dei frammenti, restituendo unità fondamentale alla statua. L'olografia però non consentiva il trasferimento automatico dei dati dal sistema di rilievo a quello dove possono essere effettuate elaborazioni che rendono possibile l'uso del modello digitale 3D.



(fig. 5) come anche la ricomposizione di una statua* in un gruppo¹⁵ (fig. 6) o di un intero gruppo di statue¹⁶ (fig. 7): la collocazione di ogni frammento e delle singole sculture può infatti essere visualizzata in qualsiasi posizione nello spazio ed essere osservata da qualsiasi punto di vista, prima della sua

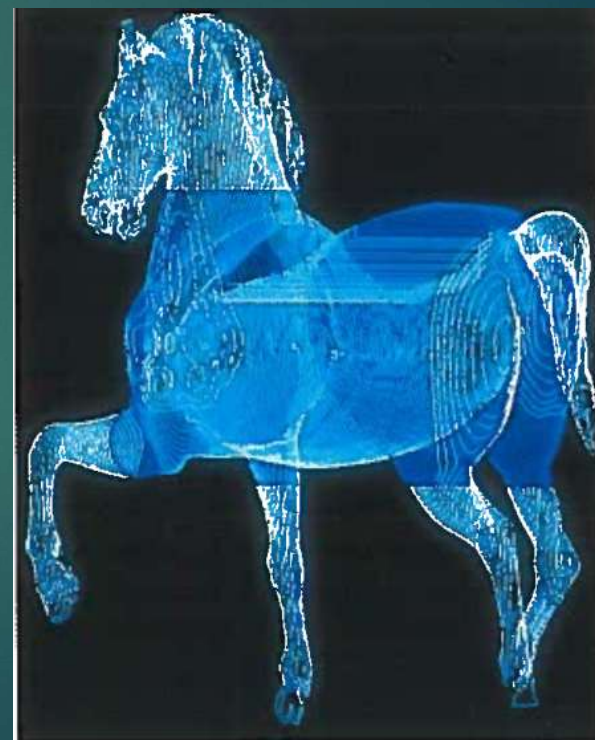
Lo sviluppo della metodologia si è avuta con l'applicazione del rilievo fotogrammetrico al monumento di Marco Aurelio di Michelangelo. I primi lavori iniziarono negli anni '70 e per la prima volta una statua di così grandi dimensioni e dal modellato articolato e complesso è stato utilizzato il rilievo fotogrammetrico per realizzare modelli 3D virtuali e fisici. In questo modo si è potuto realizzare anche la copia del monumento senza passare dal calco diretto ma seguendo il procedimento *indiretto*. Il metodo ripropone il principio delle linee d'acqua per definire il modellato di una statua ma si distingue da essa per gli strumenti utilizzati come la camera fotogrammetrica ed il calcolatore.
(foto a,b,c)



a) La ricostruzione prototipale del volto del Marco Aurelio mette in evidenza le linee di giunzione che si generano tra i prospetti se la restituzione fotogrammetrica è ottenuta per curve di livello.

Questo tipo di intervento ha permesso di valutare la distribuzione e entità delle sollecitazioni causati dal peso del cavaliere per intervenire sulle modalità di vincolo per rendere minime le deformazioni e le tensioni, senza ricorrere a puntelli esterni. La seconda fase è stato restituire i dati rilevati in principio per curve di livello o piani quotati, ottenibile secondo piani ortogonali alla direzione dei tre assi (XYZ), ma non potendo individuare le linee di giunzione diverse tra i differenti punti di vista, si è pensato di effettuare la restituzione dei dati per sezioni piane, perpendicolari ad un unico asse. Il rilievo fotogrammetrico è stato eseguito anche all'interno del Marco Aurelio per rilevare i vari spessori generati dal getto di fusione.

b) Il modello 'fotogrammetrico' del Marco Aurelio ricostruito al calcolatore secondo sezioni orizzontali.
c) Il modello 'fotogrammetrico' del cavallo ricostruito al calcolatore secondo sezioni verticali.



La prima parte del procedimento è stato analizzare il comportamento statico strutturale del monumento per sperimentare poi le migliori tecniche di consolidamento su di un modello senza danneggiare l'originale.

Grazie al modello digitale 3d e quello fisico realizzato in scala si è potuto risolvere il problema della stabilità ,dovuta alle varie cricche distribuite su tutto il cavallo, soprattutto dalle lesioni presenti nella zampa anteriore sinistra dove scarica la maggior parte del peso. Questo tipo di intervento ha permesso di valutare la distribuzione e entità delle sollecitazioni causati dal peso del cavaliere per intervenire sulle modalità di vincolo per rendere minime le deformazioni e le tensioni, senza ricorrere a puntelli esterni.



Il prototipo stereolitografico del Marco Aurelio della collezione Ludovisi utilizzato come modello intermedio per realizzare la fusione in bronzo secondo la tecnica tradizionale della cera persa.


Tutto ciò è stato possibile attraverso il modello numerico derivato dal rilievo stereofotogrammetrico della statua.

Nella sperimentazione effettuata sono stati realizzati modelli al vero tramite fresatura e taglio laser a controllo numerico, tramite tecnica stereolitografica che prevede la solidificazione di una resina liquida per strati e modelli in scala ridotta tramite una tecnica di lavorazione che prevede la solidificazione di polvere (amido e gesso) sempre più spessi.

Del Marco Aurelio esistono numerose copie, a mezzo busto, di diversi materiali e dimensioni. Questo ha permesso di mettere a confronto i modelli digitali e le copie realizzate con differenti procedimenti diretti e indiretti.



Confronto tra le copie
in bronzo del Marco
Aurelio ottenute con
differenti procedimenti.



Ulteriori passi avanti per la conservazione delle statue e per lo studio, il confronto e la memoria delle forme modellate o scolpite sono dovuti alla scansione laser, a luce strutturata e a proiezione di frange (*CONTOURING*) per il rilievo tridimensionale degli oggetti. Questi nuovi sistemi rispetto alla fotogrammetria offrono una rapidità molto elevata per eseguire il rilievo e generare il modello digitale, producendo in minor tempo un numero molto maggiore di punti per definire il modellato di una statua.

L'elevata risoluzione dei nuovi software di modellazione solida e di visualizzazione hanno favorito una più diretta e immediata utilizzo favorendo nuove soluzioni ai problemi di integrazione e ricomposizione di statue che si presentano frammentate. Si analizza meglio la soluzione più adatta a restituire unità formale all'opera sia per la ricomposizione di frammenti che di parti mancanti.

I modelli digitali 3D, hanno permesso di stabilire la forma geometrica di monumenti complessi e si sono potuti realizzare interventi di consolidamento efficaci, controllabili nel tempo ma soprattutto non invasivi e reversibili.