

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
TOR VERGATA



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

TESI DI DOTTORATO

**Una metodologia di progettazione integrata
mediante l'utilizzo di interfacce grafiche**

Dottorando:
Alessio Ubertini

Tutor:
Prof. Eugenio Pezzuti

Ciclo XVII

INDICE

INTRODUZIONE

CAP. I METODOLOGIA PROPOSTA

1. Introduzione.	1
2. La progettazione assistita.	2
2.2. Le interfacce grafiche.	4
2.3. Le interfacce aptiche.	5
2.4. La realtà virtuale e il CAVE.	7
3. Finalità del lavoro.	9
3.1. Modello CAD del corpo umano e di abitacoli di autovetture.	9
3.2. Ricostruzione dei reperti archeologici.	9
4. I casi affrontati.	10
4.1. La modellazione CAD del corpo umano.	10
4.2 La modellazione di interni di autovetture	14
4.3. La ricostruzione virtuale di reperti archeologici	16
Bibliografia.	20

CAP. II SVILUPPO DEL SOFTWARE

1. Introduzione.	22
2. L'ambiente software e lo scambio dei dati.	23
3. Metodi di scambio dei dati.	23
3.1. Formati neutrali normalizzati.	24
3.2. Convertitori diretti.	24
3.3. Impiego formato nativo.	24
3.4. Interfacce di programmazione.	24
3.5. Dati tassellati.	25
4. Dati di scambio	25
4.1. Formato ASC	25

4.2. Formato OBJ	26
4.3. Formato STL	26
5. Progettazione di interfacce utenti	26
5.1. Interfacce grafiche - GUI (Graphical User Interface)	26
5.2. Caratteristiche di una GUI	27
5.3. Interazione utente-sistema	27
5.3.1. Manipolazione diretta	28
5.3.2. Interfaccia a menu	28
5.3.3. Interfacce “command-line”	29
5.3.4. Presentazione delle informazioni	30
5.3.5. Guide per l’utente	30
6. Descrizione della metodologia adottata	33
6.1. La scelta dello sviluppo di interfacce	34
6.2. Il protocollo di Ole Automation	34
6.2.1. Le caratteristiche.	36
6.2.2. Utilizzo delle COM	37
6.2.3. Lo sviluppo di software	38
Bibliografia.	40

CAP.III RICOSTRUZIONE DI REPERTI ARCHEOLOGICI

1. Introduzione.	41
2. La fase sperimentale.	42
2.1 La scelta dell’attrezzatura.	42
2.2. La taratura dell’attrezzatura.	44
2.3. Il test case.	45
3. Confronto tra le forme ricostruite.	55
4. Analisi di un frammento.	59
5. Lo sviluppo di tools applicativi.	60
5.1. Caratteristiche del Tool.	61
5.2. La procedura guidata di pulizia.	62

5.3. Metodi per la determinazione dell'asse di rivoluzione.	63
5.3.1. Il metodo delle curvature	68
5.3.2. Il metodo delle normali	73
5.3.3. Definizione delle funzioni peso ω_i .	76
5.3.4. La procedura automatizzata.	80
5.4. La determinazione dell'asse di rivoluzione.	81
5.5. Estrazione dei caratteristiche geometriche del frammento.	83
5.6. Estrazione del profilo.	86
6. Matching dei frammenti.	92
6.1. Catalogazione dei frammenti.	93
6.2. Analisi dei frammenti.	94
6.3. La procedura implementata.	100
7. Risultati.	103
7.1. Frammenti del vaso di test case.	104
7.1.1. Frammento n°1.	105
7.1.2. Frammento n°8.	105
7.1.3. Frammento n°10.	106
7.2. Anfora.	107
7.2.1. Frammento "C".	108
7.2.2. Frammento "F".	110
7.3. Salvadanaio.	112
7.3.1. Frammento "F".	112
8. Pubblicazione sul WEB.	114
9. Considerazioni.	115
Bibliografia.	116

CAP. IV MODELLAZIONE DEL CORPO UMANO

1. Introduzione.	118
2. L’ergonomia nella fase progettuale	119
3. L’ergonomia nell’industria automobilistica	121
3.1. Gli standard e il CAD	123
3.2. L’ergonomia e la realtà virtuale	124
4. I manichini virtuali.	127
4.1. Il software HuMAn (Human Motion Analysis).	128
4.2. L’inserimento dei dati antropometrici.	132
4.3. Inserimento dati antropometrici mediante sistema di misura.	133
4.4. Riproduzione del movimento.	135
5. La modellazione dell’abitacolo.	136
5.1. Le caratteristiche del tool.	137
5.2. L’abitacolo.	138
5.3. Il sedile.	142
5.4 Il pilota.	143
6. Applicazioni.	144
6.1. Interazione pilota-kart.	144
6.1.1. La catena cinematica del pilota.	146
6.1.2. Il modello del kart.	148
6.1.3. Le analisi svolte.	145
6.2. Realizzazione di un abitacolo.	154
7. Considerazioni.	156
Bibliografia.	157

CAP. V CONCLUSIONI

1. Conclusioni.	159
------------------------	------------

INTRODUZIONE

L'utilizzo di un ambiente di software per le simulazioni e i test permette già in fase di progettazione di poter valutare la validità delle scelte progettuali operate.

L'impiego, quindi, di tali tecniche riduce il numero dei prototipi da realizzare, diminuendo così i costi di progettazione e dà la possibilità al progettista di ripetere i test con una facile riconfigurabilità del sistema in caso di modifica del modello originario.

Attualmente, la maggior parte dei software CAD permettono, oltre la modellazione di superfici complesse, anche l'integrazione con moduli di calcolo specifici e necessari nella progettazione industriale.

Tali moduli, o plug-in, permettono di inserire direttamente, nel modello CAD che si va realizzando, ad esempio, componenti meccanici specifici. E' possibile accedere a database di elementi sempre più diversificati e necessari alla progettazione meccanica.

Necessariamente, durante la fase progettuale, si devono utilizzare differenti strumenti software per validare i modelli generati. Molto spesso, però, la comunicazione tra programmi, diventa più difficoltosa del previsto per inevitabili errori di traduzione dei modelli. In questa tesi vengono presentati degli applicativi che utilizzano il protocollo di comunicazione API che attualmente risulta essere quello che dà i risultati migliori in fase di scambio dati, riducendo al minimo le possibilità di errori di conversione dei modelli utilizzati.

Questi applicativi sono stati realizzati con l'intento di fornire uno strumento efficace nella progettazione meccanica e allo stesso tempo facile da utilizzare. L'interfaccia grafica è caratterizzata dall'essere di tipo user-friendly, in modo da guidare l'utente nelle singole operazioni riducendo al minimo la possibilità di errore e per permettere a quest'ultimo di interagire in maniera semplice con il software.

Gli applicativi sfruttano le proprietà della programmazione Object Oriented e il protocollo di Ole Automation che hanno permesso un elevato grado di automazione permettendo all'utente di sfruttare le potenzialità di software commerciali senza necessariamente averne una conoscenza approfondita.

Questa metodologia ha permesso di sviluppare i seguenti tools per:

- la realizzazione di modelli tridimensionali del corpo umano per la riproduzione e l'analisi del movimento;
- la modellazione CAD parametrica di modelli di abitacoli di autoveicoli;
- la catalogazione e la ricostruzione digitale dei reperti archeologici.

Il primo crea modelli dettagliati del corpo umano permette all'utente di creare manichini personalizzati introducendo le misure antropometriche dei soggetti misurati. I dummy, così realizzati, possono essere utilizzati nei software di calcolo multibody per l'analisi del movimento, la valutazione delle reazioni articolari e lo studio delle limitazioni al movimento in pazienti con handicap fisici e lo studio dell'interazione tra uomo e veicolo durante le manovre di guida.

Nello stesso contesto è stato sviluppato un tool per la generazione di modelli parametrici di abitacoli, seguendo l'iter di sviluppo adottato nel caso precedente.

In questo modo è possibile, intervenendo su parametri caratteristici dell'abitacolo, realizzarne differenti modelli, riproducendone anche di reali.

Infine, la stessa metodologia è stata applicata nell'ambito del progetto di ricerca PRIN 2001, per la digitalizzazione dei reperti archeologici.

In questo ambito si è voluto fornire agli archeologi uno strumento di supporto al loro lavoro rispettando le attuali metodologie di catalogazione dei reperti. Già nella fase di catalogazione, infatti, è stato introdotto l'utilizzo di uno scanner laser tridimensionale per la digitalizzazione dei reperti. Tale procedura preliminare consente una evidente riduzione del tempo connesso alla catalogazione e, successivamente, alla ricostruzione virtuale del reperto.

L'applicativo, inoltre, mediante l'analisi delle caratteristiche matematiche delle superfici digitalizzate, permette la ricostruzione del reperto in modo virtuale, determinando dapprima l'asse di simmetria rispetto al quale posizionarli e individuando i frammenti con bordi contigui precedentemente catalogati.

CAPITOLO I

METODOLOGIA PROPOSTA

1. Introduzione

In questo lavoro di tesi, viene illustrato lo sviluppo di una metodologia che è stata applicata a tematiche differenti ma affrontabili e sviluppabili mediante l'applicazione citata.

Le problematiche sono completamente differenti tra loro e riguardano la generazione di un modello parametrico del corpo umano, la creazione di modelli parametrici di abitacoli di autovetture ed infine la classificazione, la catalogazione e la ricostruzione di reperti archeologici mediante tecnologie proprie dell'ingegneria meccanica.

Si è voluto quindi utilizzare lo stesso metodo di risoluzione dei suddetti argomenti di ricerca, creando degli applicativi in grado di permettere a chiunque di poter usufruire dell'esperienza fatta. Sfruttando infatti i protocolli comuni alle piattaforme software dei PC è stato possibile integrare la soluzione di queste problematiche in software che realizzano i modelli digitali in oggetto.

Così facendo si è riusciti a garantire che la soluzione del problema tipico della ricerca scientifica non rimanesse confinato all'interno del personale dotato di conoscenze tipiche del settore.

Infatti, molta attenzione è stata fatta rispetto all'utenza finale del singolo applicativo. Ad esempio, il tool che realizza manichini tridimensionali digitali è stato pensato per poter essere utilizzato da personale medico o paramedico che debba soltanto inserire le misure antropometriche per ottenere il modello digitale del soggetto.

Così anche nel caso della ricostruzione di reperti archeologici, l'archeologo a cui deve essere destinato l'applicativo non deve preoccuparsi di come quest'ultimo estrarrà le caratteristiche dal modello digitale del frammento per posizionarlo nello

spazio, ma a lui interesserà soltanto la fase finale di posizionamento e ricostruzione del reperto.

Gli applicativi realizzati hanno, quindi, un'interfaccia di tipo *user-friendly*, in modo da poter essere fruibili da un ampio campo di utenti. Un'interfaccia di questo tipo è stata realizzata mediante l'utilizzo della programmazione ad oggetti, tramite il linguaggio Visual Basic.

Alcune procedure di calcolo matematico sono state scritte in Fortran per una maggiore efficienza e rapidità di calcolo, e integrate come librerie all'interno dell'applicativo. In questo modo è stato possibile fornire un pacchetto unico senza che l'utente sia costretto a utilizzare differenti software commerciali per raggiungere i suoi scopi.

Inoltre, la metodologia sviluppata ha permesso, mediante le tecniche API, di far comunicare software differenti come il CAD, software di analisi dinamica, programmi per la reverse engineering.

2. La progettazione assistita

Lo scopo principale dell'ingegneria è l'applicazione della conoscenza nella risoluzione di problemi tecnici e la loro successiva ottimizzazione rispondendo ai vincoli di progetto.

La realizzazione di un nuovo prodotto, sia esso un manufatto o un software, è lo scopo della progettazione. Il progettista deve quindi contribuire alla ricerca della soluzione ed inoltre deve seguire passo passo lo sviluppo e la realizzazione del prodotto.

La progettazione, in genere, è un'attività che:

- ricopre la maggior parte delle aree della vita umana
- usa le leggi e i principi della scienza
- si basa su una particolare esperienza

Nel processo di progettazione la sintesi e la creatività giocano un ruolo fondamentale. Il processo di progettazione è aiutato da computer con potenze di calcolo sempre più elevate. Per una interazione effettiva con il sistema di calcolo,

quest'ultimo deve avere un'interfaccia che si adatti al modo naturale di espressione dell'utente, facendo in modo che le idee si trasformino in dati reali.

Nell'interazione di alto livello tra l'uomo e il computer possiamo distinguere requisiti differenti. I cosiddetti requisiti esterni, ad esempio, coinvolgono le aspettative dell'utente connesse alla fruibilità del software.

Proprio in funzione di quest'ultimi i software hanno avuto un'evoluzione nel tempo tale da garantire aggiornamenti grafici sempre più importanti e fatti a misura di utente.

Oltre alle migliorie grafiche, le software house hanno sviluppato applicativi specifici che permettono di integrare nel software principale delle funzionalità differenti. Tali applicativi permettono all'utente di inserire elementi aggiuntivi all'interno del proprio lavoro. Esistono, ad esempio, dei plug-in che realizzano elementi meccanici come ruote dentate in ambienti CAD o permettono di analizzare i modelli dal punto di vista fluidodinamico. Nella modellazione 3D si trovano applicativi che permettono di realizzare render fotorealistici.

Esistono anche altri moduli di diversi CAD che permettono di realizzare un modello tridimensionale di manichino secondo le misure antropometriche presenti nel database ad esso collegato.

Utilizzando tale metodologia è possibile sfruttare le potenzialità di calcolo del software originario.

In quest'ottica si è cercato di realizzare degli applicativi che sfruttassero le caratteristiche dei software commerciali ma che allo stesso tempo fossero di tipo *open* contrariamente agli applicativi che si trovano in commercio.

I tools così realizzati soddisfano le specifiche da noi richieste, sono aperti e permettono il controllo diretto sulla programmazione con ampie possibilità di personalizzazione a seconda delle esigenze.

2.2. Le interfacce grafiche

Attualmente esistono un'elevata varietà di interfacce utente. Ogni software house, infatti, interpreta a suo modo le condizioni che rendano migliore lo scambio di informazioni tra l'uomo e il PC.

Una buona GUI (Graphical User Interface), infatti, facilita lo scambio di informazioni tra l'utente e il software che quest'ultimo sta utilizzando.

Le interfacce grafiche sono nate dall'esigenza di dare all'utente informazioni in tempo reale sullo stato di avanzamento dei processi.

Un'interfaccia grafica può essere paragonata allo sterzo di un'automobile. Il pilota, ovvero l'utente, può decidere la direzione da percorrere interagendo con esso. Così mediante l'interfaccia l'utente può scegliere le operazioni da far compiere al software [1], [2]. L'utilizzo quindi di interface dedicate consente di guidare l'utente nello svolgimento delle operazioni necessarie all'ottenimento dei risultati.

Le problematiche affrontate in questa tesi di dottorato sono state risolte secondo una metodologia che garantisca l'accesso alla soluzione ad un'utenza ampia. Si è infatti proceduto utilizzando le comuni piattaforme software agli odierni PC per le diverse applicazioni trattate. In questo modo si sono realizzati degli applicativi che permettono di sfruttare le potenzialità di calcolo di alcuni software in commercio, unendo, a volte, caratteristiche assai differenti dei programmi utilizzati.

Le interfacce grafiche dei tool sviluppati sono state realizzate in modo che l'utilizzatore finale sia guidato durante la scelta delle operazioni da effettuare.

In questo modo si è riusciti ad ottenere estrema funzionalità dei programmi e un elevato grado di comprensibilità da parte dell'utente.

L'utente vedrà, quindi, soltanto la "facciata" del software senza sapere le procedure di calcolo che sono state implementate. Infatti, con la semplice pressione di un tasto attiverà delle procedure di calcolo che sono state implementate per la risoluzione del problema, senza conoscere la tipologia di metodi, propri della progettazione ingegneristica, per arrivare al risultato finale. Alcune applicazioni, come quelle realizzate nell'ambito della ricostruzione virtuale di reperti archeologici, sono state presentate agli effettivi destinatari, gli archeologi, nel Convegno di chiusura del PRIN 2001, tenutosi alla Facoltà di Lettere dell'Università "Federico II" di Napoli.

In quell'appuntamento sono state realizzate delle dimostrazioni in tempo reale delle potenzialità di ricostruzione dei reperti, proprio ad un pubblico di archeologi, riscuotendo una soddisfacente approvazione.

2.3. Le interfacce aptiche

Il termine di interfaccia definisce un sistema di relazioni tra almeno due entità. In particolare, nel settore tecnologico, lo scambio di informazione è inteso tra l'uomo e la macchina, fig. 1. In pratica rappresentano uno spazio di interazione dell'utente con gli ambienti virtuali. Nel caso delle interfacce grafiche si utilizza una riproduzione del reale, mentre nel caso delle interfacce aptiche quello che si genera è una riproduzione dell'azione reale in modo virtuale. Nel caso, quindi dell'interfaccia aptica, le informazioni sono bidirezionali.

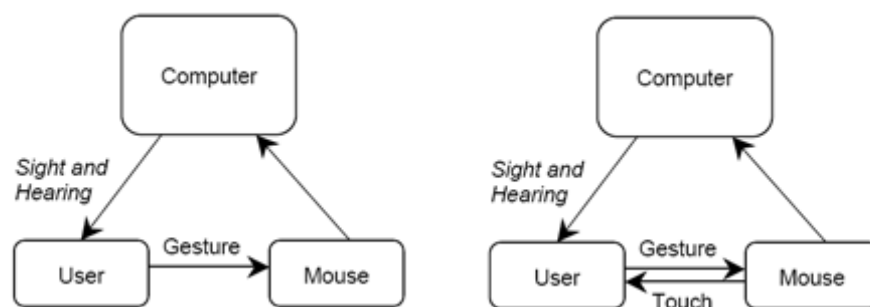


Fig. 1 – Funzionamento dell'interfaccia grafica, a sinistra, e di quella aptica, a destra

L'utente, come nel caso reale, ad ogni azione che fa riceve degli stimoli che producono in lui una risposta adeguata allo stimolo (feedback). In pratica, l'utente interagisce con l'ambiente esterno mediante l'utilizzo di opportuni sistemi di interazione con l'ambiente virtuale (cave) come possono essere tute, caschi e occhiali. Mediante questo l'interfaccia aptica (dal greco afferrare, toccare), l'utente può percepire al tatto un oggetto virtuale.

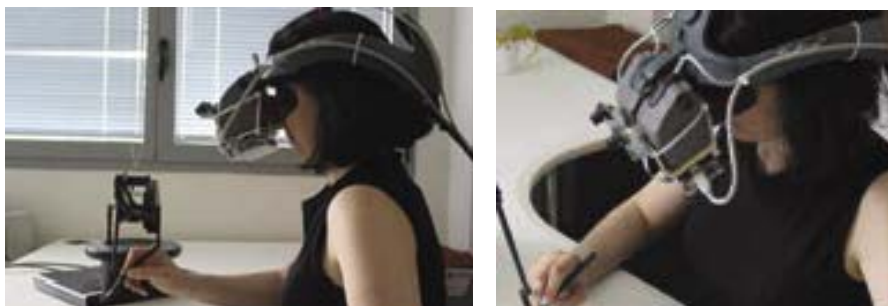


Fig. 2 – Il sistema aptico HAnD

Nella fig. 2 è rappresentato il sistema HAnD [3], che integrando le nuove tecniche di *Augmented Reality* e sistemi aptici, serve allo studio dei singoli feedback che concorrono nell'apprendimento del processo di scrittura. Lo scopo primario è quello di portare l'utente all'interno di un mondo virtuale regolato da leggi e principi riprodotti in modo artificiale.

La cosiddetta Realtà Aumentata, si prefigge lo scopo di amplificare la percezione degli oggetti e l'interazione col mondo circostante, accrescendo la scena con oggetti virtuali tridimensionali o con informazioni non geometriche sempre relative all'ambiente circostante.

Con questo sistema è possibile studiare il comportamento di utenti disabili e sperimentare nuove tecniche di riabilitazione.

In questo caso particolare, l'ambiente è costituito da un piano di scrittura generato virtualmente da un meccanismo robotico capace di interpretare i movimenti dell'utente e fornire informazioni, feedback, necessarie per orientare il sistema di movimento nella direzione corretta di scrittura.

I sistemi aptici trovano applicazione nell'area medica, nella modellazione interattiva e nella robotica [4] [5] aggiungendo informazioni sulla tipologia di materiali che caratterizzano le superfici e nel training medico-chirurgico, fig. 3.

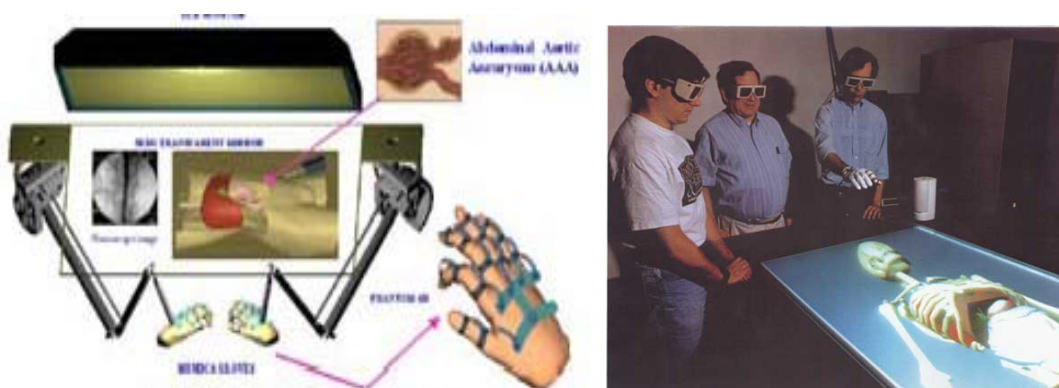


Fig. 3 – Training medico-chirurgico

2.4. La realtà virtuale e il CAVE

Nelle attività di progettazione e pianificazione sono divenuti di uso comune, oltre ai software di tipo CAD e CAM, anche strumenti di Realtà Virtuale, [6] [7] [8].

I benefici di tale tecnica ne hanno permesso un rapido sviluppo nella realtà industriale odierna, consentendo una diminuzione dei costi e dei tempi, offrendo nello stesso tempo prodotti con una qualità superiore con un maggior grado di sicurezza.

Tale tecnica consente di ricreare un ambiente artificiale in cui l'utente ha l'impressione di essere immerso, potendo muoversi, manipolare oggetti come se fosse nel mondo reale. I livelli di immersione sono variabili a seconda dei sistemi di interazione che si utilizzano, che vanno dagli occhiali 3D fino al massimo dell'immersione che si ottiene con la tecnologia CAVE (Computer Animated Virtual Environment).

Quest'ultima tecnologia consiste nel realizzare un ambiente fisico su scala naturale in cui l'immagine dello scenario investe l'utente stereoscopicamente da tutte le direzioni. Questo ambiente fisico è chiamato CUBE, fig.4.

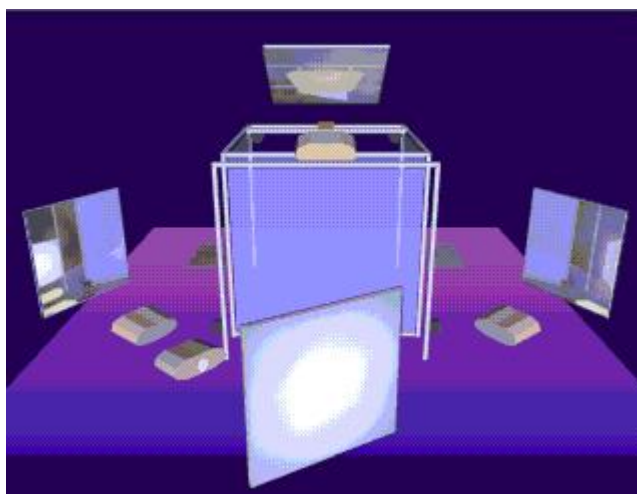


Fig. 4 – Il CUBE

L'immersione in ambienti virtuali è possibile mediante l'ausilio strumenti di input come guanti, body sensibili e sistemi a riconoscimento vocale, fig. 5.

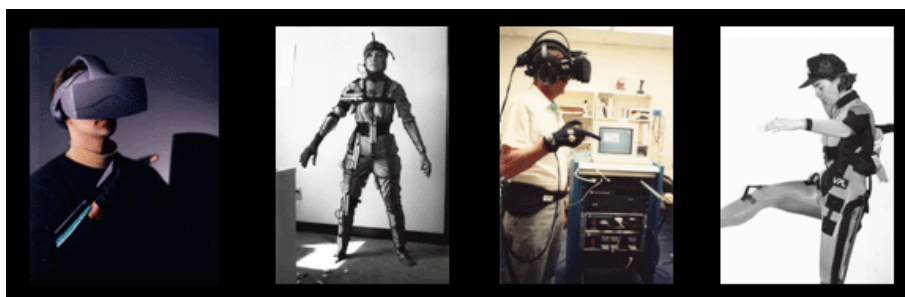


Fig. 5 – Strumenti di input

La modellazione per la realtà virtuale consiste nel creare oggetti 3D a partire da disegni CAD, o da modelli ripresi con fotocamere digitali.

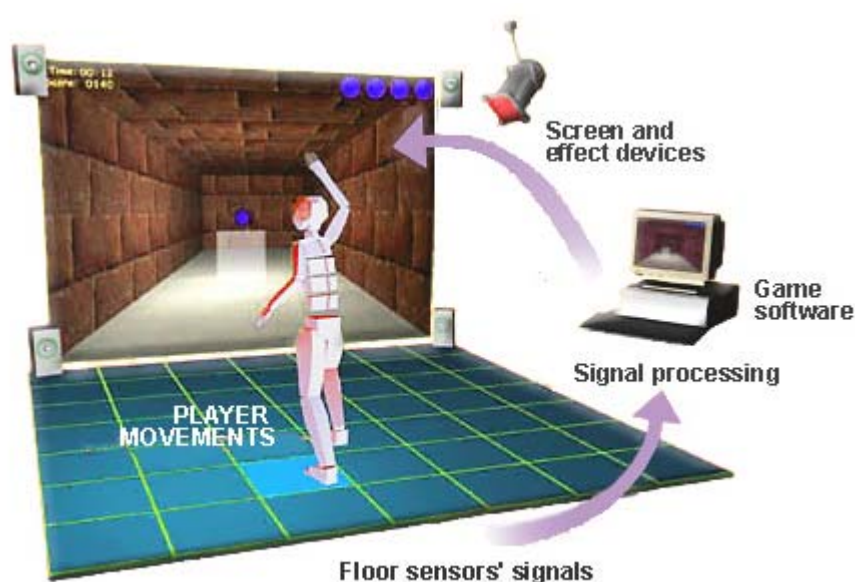


Fig. 6 - Schema di funzionamento di un sistema immersivo

I modelli sono immagazzinati in un database che viene utilizzato nella simulazione del mondo virtuale. Il processo di simulazione gestisce in tempo reale le relazioni tra gli oggetti e l'utente in modo che quest'ultimo abbia la sensazione di trovarsi nel mondo reale, [9].

Attualmente la realtà virtuale trova applicazione in differenti campi tra cui la realizzazione di mock-up virtuali, addestramento di squadre di soccorso in condizioni di emergenza (incendi, esplosioni, ecc.), pianificazione di attività pericolose, progettazione di vettori prototipi e addestramento alla conduzione.

3. Finalità del lavoro

Gli strumenti sviluppati in questa tesi hanno lo scopo di rendere fruibile la soluzione trovata in fase progettuale, ad un'utenza più ampia. Poiché nell'affrontare queste problematiche di progettazione, ci si è imbattuti nello scambio dati tra differenti software e nella manipolazione delle informazioni, si è scelto di utilizzare la tecnica di programmazione API. Tale tecnologia permette di ottenere risultati soddisfacenti nel trasferimento dati, garantendo il mantenimento delle feature dei modelli digitali scambiati. Gli applicativi, così realizzati, hanno il vantaggio, rispetto a quelli commerciali, di essere di tipo aperto e quindi modificabile e adattabile alle esigenze contingenti. Inoltre, sono già sviluppati seguendo un iter di progettazione finalizzato al soddisfacimento di determinati requisiti.

3.1. Modello CAD del corpo umano e di abitacoli di autovetture.

Ci si è posti, dapprima, il problema di realizzare un modello digitale completamente parametrico di un manichino nelle configurazioni uomo, donna e bambino, adatto alla simulazione dinamica e creato sulla base delle misure antropometriche del soggetto. Non è stata creata solo un insieme di manichini standard, bensì è stato sviluppato un software che permette la generazione di modelli virtuali a partire dalle misure reali dei soggetti sottoposti ad analisi. Il modello così ottenuto direttamente utilizzabile all'interno di un software di analisi dinamica per la riproduzione e l'analisi del movimento. Infine, è stato sviluppato uno strumento applicativo per il software commerciale Mechanical Desktop che permette la costruzione di modelli di abitacoli completamente parametrici per analisi di raggiungibilità dei comandi, posizionamento di questi ultimi e allestimento per disabili.

3.2. Ricostruzione dei reperti archeologici.

Nella ricostruzione dei reperti archeologici, il problema era quello di risolvere delle problematiche relative alle geometrie dei frammenti rilevati per ottenere una ricostruzione virtuale, veloce e fedele del reperto. Tale problema è stato risolto sviluppando delle routine di calcolo capaci di trattare frammenti differenti e in grado di catalogarli e posizionarli rispetto ad un reperto di riferimento. Si è così fornito uno strumento con cui può interagire personale non specializzato. Tale studio è stato

condotto all'interno del progetto PRIN 2001 "Archiviazione e restauro di reperti archeologici mediante tecniche CAD-RP".

4. I casi affrontati

I casi a cui si è riusciti ad applicare la metodologia sviluppata con la tecnica della Ole Automation riguardano campi differenti tra loro. Il filo conduttore che lega tali applicazioni, apparentemente così differenti, è il processo di sviluppo e lo scopo di destinarle ad un'utenza non specializzata. Lo scopo infatti è stato quello di risolvere problematiche della ricerca ingegneristica e di renderle fruibili ad un ampio pubblico senza che quest'ultimo abbia conoscenze specifiche del settore scientifico.

4.1. La modellazione CAD del corpo umano

Già nella mia tesi di laurea [10] il software HuMAAn era stato scritto per la costruzioni di modelli del corpo umano in ambiente computazionale di tipo multibody. Successivamente si è provveduto ad avere una geometria più dettagliata composta da un maggior numero di segmenti corporei e relative articolazioni. In letteratura si trovano differenti tipologie di manichini virtuali, sviluppati per i diversi scopi della ricerca ingegneristica come lo studio dei crash [11], [12].

Nel nostro caso si è voluto creare un'applicazione orientata verso la riproduzione e l'analisi del movimento e verso gli studio di ergonomia in fase di progettazione sfruttabile in programmi di calcolo multibody [13].

Alcuni modelli di manichini virtuali sono caratterizzati da una rispondenza poco fedele alla realtà perché magari servono solo per avere una distribuzione qualitativa dei pesi in fase di simulazione, fig.7.

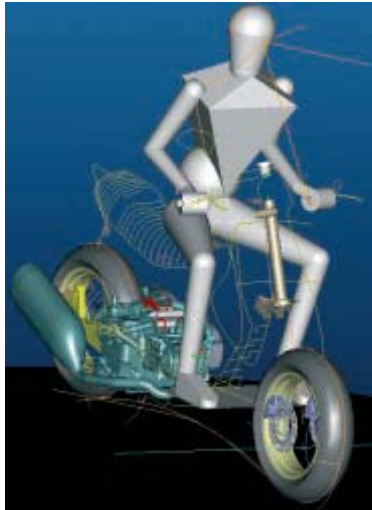


Fig. 7 – Esempio di un modello non dettagliato.

Nel nostro caso si è voluto realizzare un modello virtuale del corpo umano, completamente parametrico in modo da poter descrivere qualsiasi soggetto, inserendo tramite apposito form le sue misure antropometriche.

Il tool realizzato permette di creare modelli tridimensionali del corpo umano nelle configurazioni uomo donna e bambino, [14].

Ciascun manichino è formato da segmenti corporei che hanno un proprio ingombro nello spazio e a cui sono associate delle caratteristiche di massa.

Il software opera secondo i seguenti passi fondamentali:

- *Acquisizione dati geometria (Files Poser 4).*
- *Controllo e ricostruzione della gerarchia dei vincoli del modello.*
- *Scalatura del modello in funzione delle caratteristiche antropometriche del soggetto e riposizionamento dei vincoli.*
- *Ricerca dei nodi di bordo dei segmenti corporei e chiusura delle mesh del Modello.*
- *Esportazione del Modello nel formato proprietario Working Model tramite il protocollo OLE Automation.*

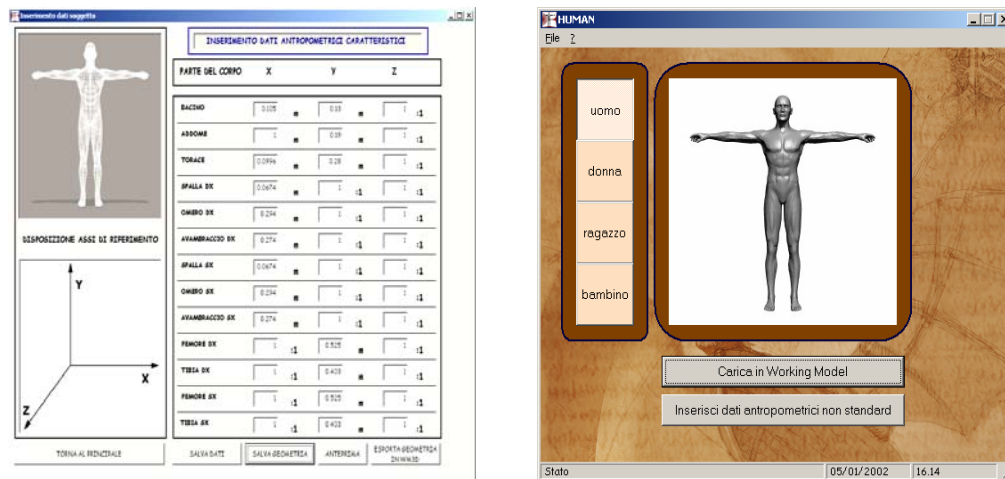


Fig. 8 - Form del software HuMAN

La costruzione del modello del corpo umano, in Working Model, avviene in tre fasi:

- Inserimento dei corpi rigidi, in questo caso sono i segmenti corporei, rispettando la posizione e l'assetto scelti preventivamente nel Poser;
- Inserimento delle terne di riferimento per l'orientazione dei vincoli cinematici con conseguente disposizione dei segmenti corporei nello spazio secondo la postura assegnata;
- Generazione dei vincoli secondo la catena cinematica del manichino. I vincoli sono generati tutti come cerniere sferiche e possono essere personalizzati dall'utilizzatore a seconda del proprio scopo.

Il risultato è visibile nelle fig. 9, dove si nota, inoltre, anche la possibilità di esportare il modello in una qualsivoglia posizione. Le sfere verdi rappresentano i vincoli suddetti.

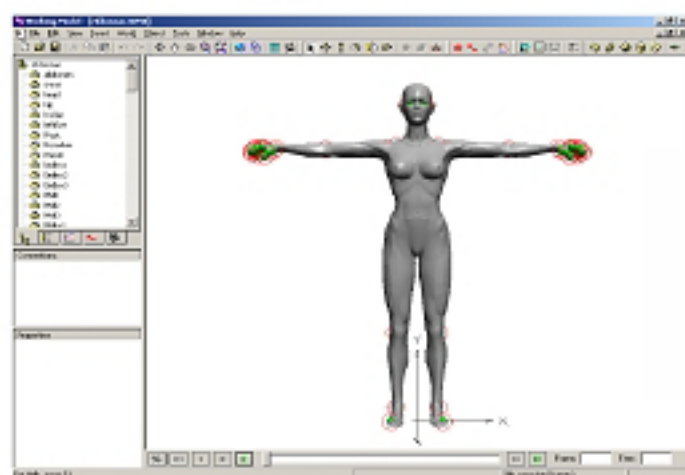


Fig. 9 - Risultato dell'esportazione in Working Model



Particolare cura è stata posta nella modellazione della mano (fig. 10); nella simulazione delle capacità motorie dei soggetti disabili è infatti necessario poter riprodurre correttamente tutte le possibilità di movimentazione o gli impedimenti delle articolazioni della mano, per poter progettare azionamenti e servocomandi efficaci e specifici per la patologia del soggetto.

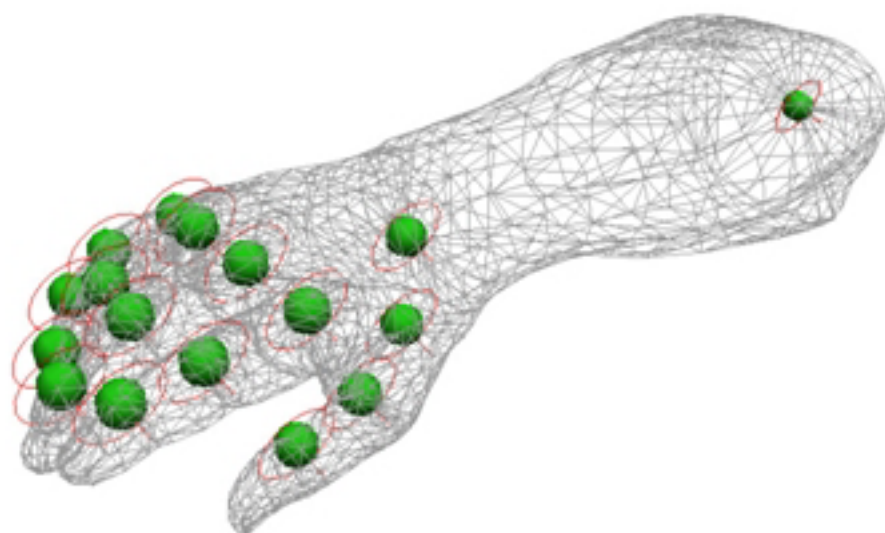


Fig. 10 - Dettaglio del modello della mano completo dei vincoli

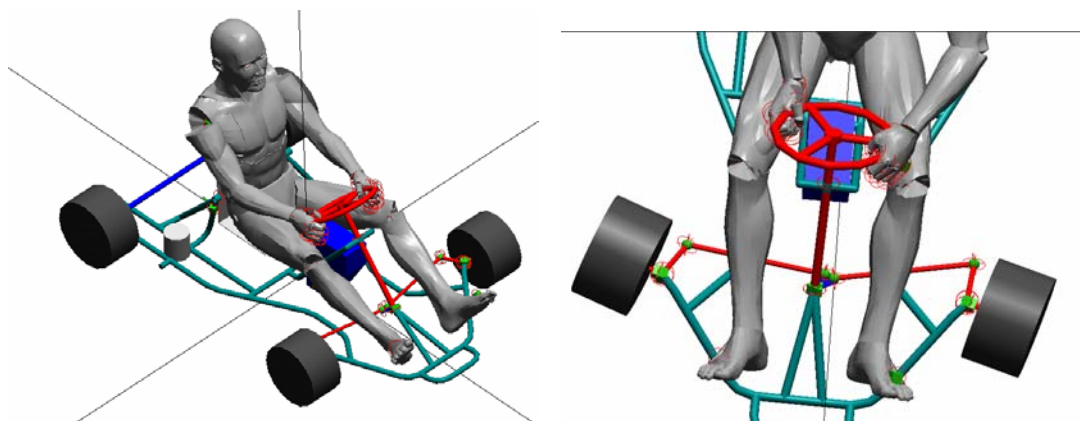


Fig. 11 – Manichino sul kart e particolare della sterzata

4.2 La modellazione di interni di autovetture

Utilizzando la stessa metodologia è stato messo a punto un applicativo per la generazione in virtuale di modelli di abitacoli di autovetture. Attraverso i modelli digitali degli abitacoli è possibile fare test in virtuale per la valutazione ergonomia delle scelte progettuali adottate [16]. Gli intenti, secondo cui si è proceduto nello sviluppo del programma, hanno mirato alla creazione di uno strumento che integri la modellazione CAD con le problematiche ergonomiche inerenti alla progettazione di abitacoli [17].

Il software è uno strumento applicativo per il sistema CAD Mechanical Desktop, in grado generare un modello tridimensionale dell'abitacolo di un'autovettura completamente parametrico.

Le procedure messe a disposizione dal programma consentono di modificare le caratteristiche dell'abitacolo per renderle adatte a quelle del pilota.

L'applicativo offre immediate possibilità come generare un archivio degli abitacoli presenti in commercio e associare il modello di abitacolo ottenuto alle caratteristiche antropometriche dei piloti. Il modello prodotto dal programma può inoltre essere utilizzato per proficue simulazioni atte a valutare la visibilità offerta dall'abitacolo al pilota e studi di raggiungibilità dei comandi.

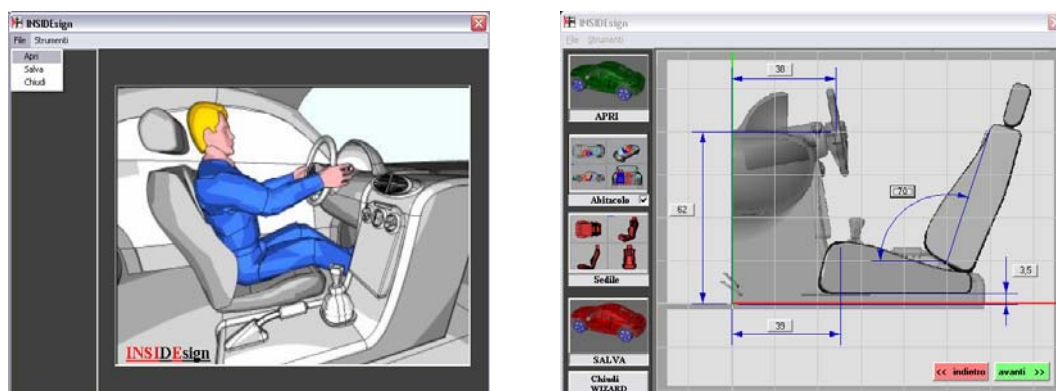


Fig. 12 – Il form del software

In fig. 12 vengono riportate alcune delle finestre grafiche dell'applicativo.

Si può notare come si sia reso estremamente semplice ed efficace l'introduzione dei parametri che governano la geometria dell'abitacolo. Infatti, mediante il form a destra, nella fig. 12, l'utente può modificare i parametri corrispondenti alla geometria disegnata nel form stesso.

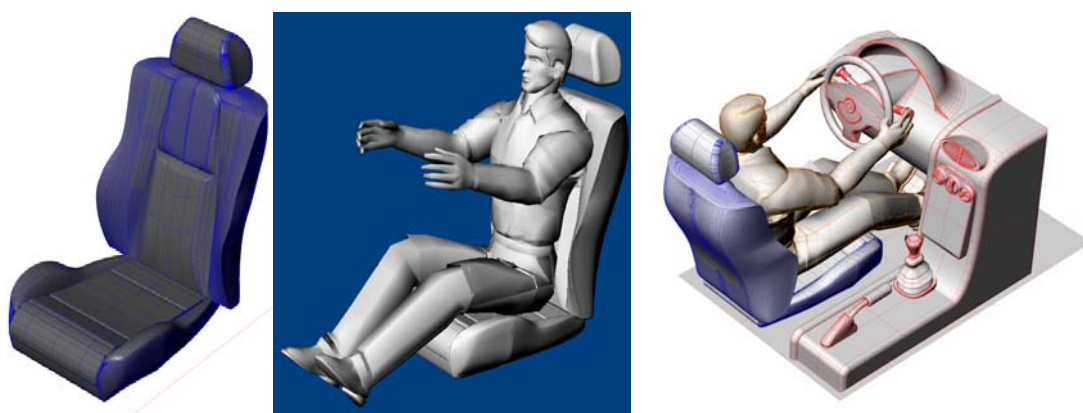


Fig. 13 – Posizionamento del manichino all'interno dell'abitacolo

Nella figura precedente, si può vedere il risultato finale del posizionamento del pilota all'interno dell'abitacolo.

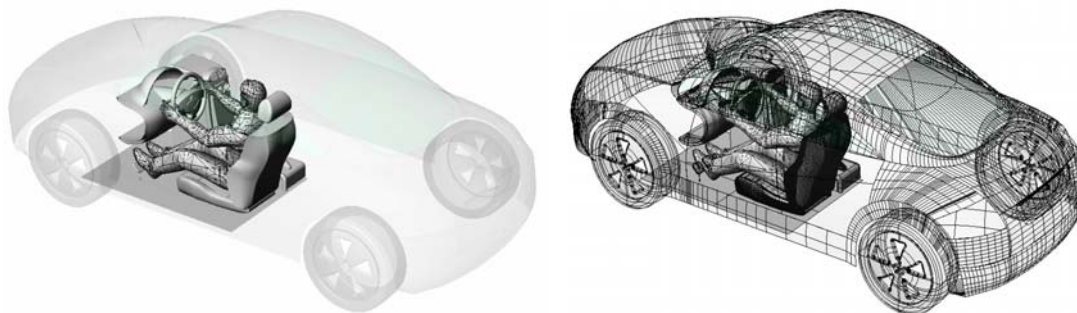


Fig. 14 – Il sistema completo

In fig. 14 è presentato il risultato finale con il pilota nella posizione di guida all'interno dell'autovettura.

4.3. La ricostruzione virtuale di reperti archeologici

Nelle operazioni di scavo nei siti archeologici portano alla luce un elevato numero di reperti che necessariamente devono essere catalogati e misurati, fig. 15. Attualmente, gli archeologi catalogano i frammenti rinvenuti direttamente sul sito di archeologico seguendo una tecnica completamente manuale che comporta un gran dispendio di tempo, sottraendone gran parte alla fase di ricostruzione [18].



Fig. 15 – Frammenti di un sito archeologico

Per sveltire ed automatizzare tali operazioni si sono applicate le moderne tecniche proprie dell'ingegneria. In particolare mediante l'utilizzo di scanner laser 3D, e quindi della reverse engineering, si è riusciti a fornire uno ausilio agli archeologi nel loro lavoro di ricostruzione. Per facilitare l'utilizzo di questi strumenti si è realizzato

un software che permette, oltre alla gestione delle geometrie acquisite, la ricostruzione virtuale del reperto tramite i frammenti digitalizzati, fig. 16.

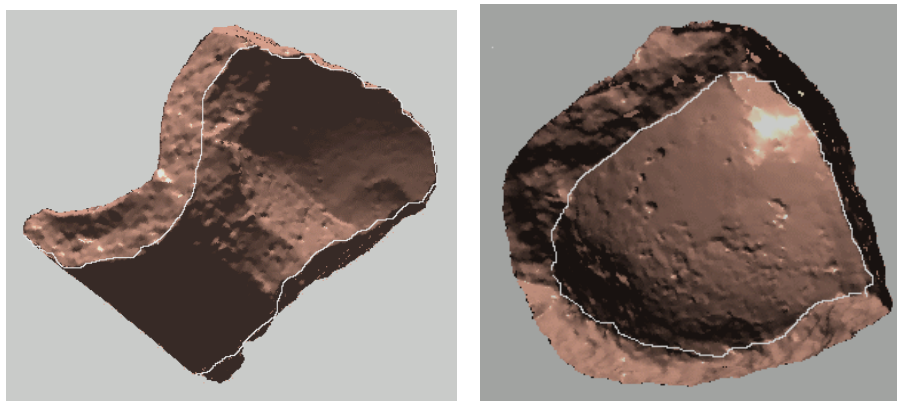


Fig. 16 – Esempi di frammenti digitalizzati

Il software ha un elevato grado di automazione permettendo così all'utente di ottenere i risultati delle operazioni di calcolo semplicemente premendo un tasto nella relativa finestra, fig. 17.

Lo stesso software permette la catalogazione digitale del reperto in un apposito database ed inoltre ha la capacità di riconoscere i frammenti dai bordi contigui.



Fig. 17 - Alcuni form del software e parte di un modello digitale del vaso

L'utente è guidato durante le operazioni in modo da rendere minime le possibilità di errore. Infatti, questo software è stato sviluppato pensando che gli utilizzatori finali siano degli archeologi non esperti nel campo della gestione di software di reverse engineering.

Lo studio è stato specializzato per frammenti di vasellame [19] e quindi di oggetti che possono essere considerati, introducendo opportune considerazioni di forma, dei manufatti assialsimmetrici.

Sviluppando un procedimento di calcolo che tiene conto della non regolarità della superficie digitalizzata, sia per via dei difetti presenti sul frammento originale, sia gli inevitabili errori connessi al procedimento di acquisizione, si è riusciti a determinare l'asse di simmetria del frammento e a posizionarlo nello spazio rispetto ad un archetipo di riferimento, fig. 18.

Nella fig. 18 si vede uno dei frammenti del vaso di test case sovrapposto al modello digitale del vaso originario.

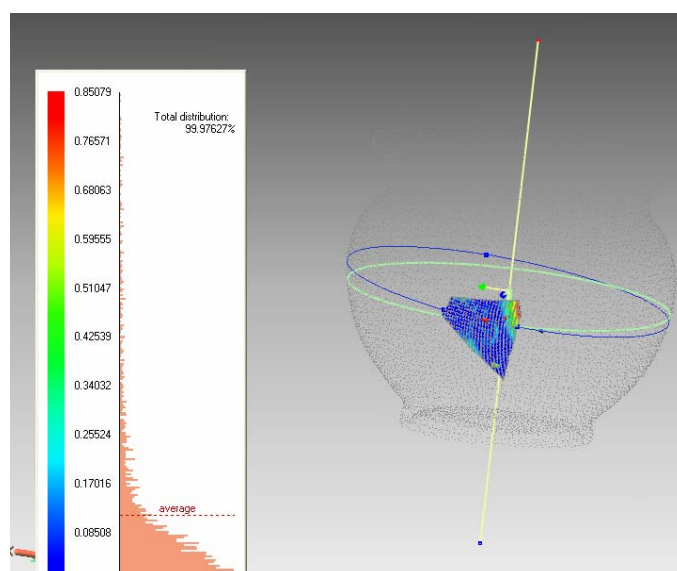


Fig. 18 – Ricostruzione della posizione originaria del frammento

L'applicativo sviluppato determina, dapprima, l'asse di simmetria del frammento, lo sovrappone a quello del modello di riferimento e successivamente ne valuta la riuscita della sovrapposizione stessa. Questa valutazione è fatta tramite la stima della distribuzione dei punti appartenenti al frammento su quelli appartenenti al vaso. L'applicativo, oltre queste operazioni, che sono necessarie per la ricostruzione virtuale dell'intero reperto, permette di determinare e riconoscere i frammenti appartenenti ad uno stesso vaso, in precedenza catalogati. Una volta individuati all'interno del database, il software, in modo automatico, determina le curve di bordo dei frammenti. Tali curve vengono confrontate per valutarne eventuali affinità.

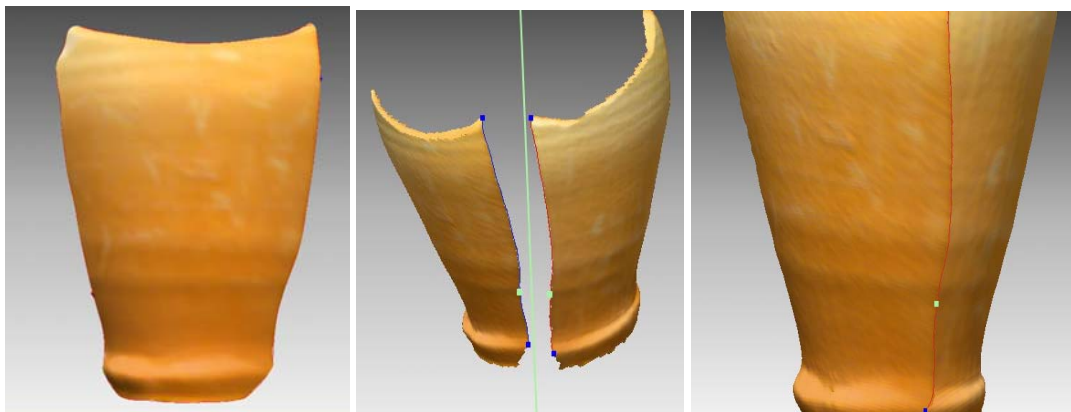


Fig. 19 – Varie fasi della ricostruzione virtuale del reperto

Nella fig. 19 si notano le varie fasi del processo di ricostruzione virtuale. La prima fase, come detto in precedenza, è necessaria per la catalogazione, eliminazione dei difetti dovuti all'acquisizione e determinazione dell'asse di simmetria del frammento. Successivamente, si determinano frammenti dello stesso reperto presenti nel database, vengono allineati rispetto al comune asse di simmetria e vengono determinate le curve di bordo che ne permettono l'accostamento.

In pratica, si opera come se si dovesse completare un puzzle tridimensionale. In questo caso le informazioni non vengono dalle immagini presenti sui pezzi del puzzle, ma dalla matematica che si può estrarre dal modello digitale e dai suoi bordi.

Bibliografia

- [1] Nikolai Mansurov, Dmitri Vasura, *New Visual Interface for Engineering Use Case Models*, In proceedings of Automated Software Engineering 2000
- [2] Daniel Amyot, Nikolai Mansurov, and Gunter Mussbacher, , *Understanding Existing Software with Use Case Map Scenarios*, In Proceedings of SAM 2002
- [3] Nadia Andreini, “*Gli aiuti tecnologici sviluppati al PERCRO*”, Interfacce Robotiche
- [4] Henry König, “*Haptic Rendering of Polygonal Models*”
- [5] D. Constantinescu, I. Chau, S. P. DiMaio, L. Filipozzi, S. E. Salcudean, and F. Ghassemi “*Haptic Rendering of Planar Rigid-Body Motion using a Redundant Parallel Mechanism*”, In Proceedings of ICRA2000
- [6] Luc Renambot, Henri E. Bal, Desmond Germans, Hans J.W. Spoelder, *CAVEStudy: an Infrastructure for Computational Steering in Virtual Reality Environments*, in the Proceedings of the Ninth IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing", Pittsburgh PA, August 2000
- [7] Sandro Bologna, “*Modellistica e Simulazione Non-numerica (Qualitativa) di Sistemi Complessi*”, Enea, 2001
- [8] Nadia Magnenat Thalmann, “*Virtual Reality Software and Technology*”, In Proceedings of VRST99, 1999.
- [9] Frederick P. Brooks, Jr., “*What’s Real About Virtual Reality?*”, IEEE Computer Graphics and Applications, 1999.
- [10] Alessio Ubertini, “*Modellazione CAD del corpo umano ed applicazioni di analisi del movimento*”, Tesi di laurea in Ingegneria Meccanica, luglio 2001
- [11] M. Bellucci, A. M. Zinno, G. Monacelli, L.Di Palma, “*La biofedeltà e la prototipazione virtuale nel campo automobilistico*”, XIII ADM - XV INGEGRAF International Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN, Giugno 2003
- [12] Jac Wismans, “*Design Tools: Human Body Modeling*”, disponibile all’indirizzo internet: http://www.autosteel.org/pdfs/vehicle_crashworthiness_5.pdf
- [13] S. Barone, A. Curcio, *3D cad models of human bodies for ergonomics analyses of two wheeler veicles*, XIII ADM - XV INGEGRAF International

Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN, Giugno 2003

[14] Eugenio Pezzuti, Marco E. Biancolini, Alessio Ubertini, Andrea Gaspari, *“Modelizacion Cad 3d del cuerpo humano y aplicacion para la analisis del movimiento”*, XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España – 5-7 junio de 2002

[15] Eugenio Pezzuti, Luigi Reccia, Alessio Ubertini, Andrea Gaspari, *“Analisi dell’interazione pilota-kart mediante tecnica multi-body”*, Associazione Italiana per l’Analisi delle Sollecitazioni (AIAS) - XXXI Convegno Nazionale, 18-21 Settembre 2002, Parma

[16] G. Colombo, U. Cugini, *“Simulazioni con prototipi ed esseri umani virtuali per lo studio ergonomico dell’interno vettura nel ciclo di vita”*, XIII ADM - XV INGEGRAF International Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN, Giugno 2003

[17] F. Caputo, R. De Amicis, G. Di Gironimo, A. Stork, *“Ergonomic Driven Design in augmented reality”*, XIII ADM - XV INGEGRAF International Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN, Giugno 2003

[18] Frederic F. Leymarie et al., *“The SHAPE Lab : New Technology and Software for Archaeologists”*, Proceedings of Computer Applications in Archaeology 2000, pagg. 79-89

[19] Caputo F., Greco G., Di Gironimo G., *“Sull’impiego di tecniche CAD nella modellazione e nella ricostruzione di reperti Archeologici”*, 11th ADM Conference, Proceedings, Palermo, 1999

CAPITOLO II

SVILUPPO SOFTWARE

1. Introduzione.

In questa tesi viene presentata la metodologia messa a punto per lo sviluppo di applicativi dedicati che permettono il controllo di software commerciali. In questo modo è stato possibile creare programmi che facessero fronte a esigenze differenti nell'ambito della progettazione meccanica.

Infatti, utilizzando il protocollo di Ole Automation piattaforma comune di molti software commerciali, si è riusciti a gestire dall'esterno i software commerciali, secondo lo schema Client- Server.

Tramite l'applicazione (Client) che viene sviluppata a seconda dell'esigenza di progetto è possibile comandare, e quindi utilizzarne le potenzialità, il software commerciale (Server).

Nel nostro caso la metodologia è stata applicata in campi assolutamente differenti dando comunque risultati soddisfacenti.

Per ogni applicazione, inoltre, si è tenuto conto del tipo di pubblico a cui è destinata realizzandola in modo da garantirne una facile e immediata comprensione mediante l'utilizzo di interfacce grafiche che guidano l'utente nelle operazioni da effettuare..

2. L'ambiente software e lo scambio dei dati

L'ambiente di lavoro comune alle applicazioni sviluppate è quello CAD. Si pone quindi il problema dello scambio dati tra software differenti che comunque garantisca un corretto trasferimento di informazioni. Non è detto che questo scambio delle informazioni sia sempre corretto tale che un modello digitale costruito in un ambiente CAD, una volta esportato, mantenga le stesse caratteristiche nel nuovo ambiente. Infatti, anche se si utilizzano formati di conversione standardizzati, i differenti software possono "leggere" le informazioni provenienti dai file in modo diverso perdendone alcune.

Il problema [1] dello scambio delle informazioni si riscontra in tutti gli ambienti CAX, che utilizzano in maniera differente i dati geometrici che provengono da altri sistemi.

I dati coinvolti nello scambio, possono essere punti, curve, superfici o solidi, le cui definizioni matematiche possono differire notevolmente anche all'interno dello stesso ambiente. Ciascuno, infatti, adotta una matematica interna che consente di gestire e creare superfici molto complesse, in modo via via più veloce, garantendo un livello di accuratezza sempre più elevato. L'accuratezza dei sistemi è uno dei principali fattori a cui va addebitata l'alterazione della geometria durante il processo di traduzione. Molto spesso, infatti, non si riesce a individuare un adeguato fattore di conversione che permetta la ricostruzione della geometria secondo le intenzioni del disegnatore.

Questo impreciso scambio di informazioni viene tradotto nella presenza di indesiderate alterazioni del modello come piccoli distacchi (gap), sovrapposizioni (overlap), oppure la presenza di superfici non delimitate (trimmed surface) dai bordi originali.

3. Metodi di scambio dei dati

Ad oggi si distinguono cinque differenti approcci:

- Formati neutrali normalizzati
- Convertitori diretti
- Impiego del formato nativo
- Impiego delle interfacce di programmazione

- Impiego di dati tassellati

3.1. Formati neutrali normalizzati

La forma più diffusa per lo scambio dati fa uso di un protocollo normalizzato a livello internazionale, ovvero l'IGES (Initial Graphic Exchange Specification) o lo STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data). Con questo tipo di approccio il modello originale viene tradotto nel formato neutrale IGES (o STEP)

Il file del software di pre-processing è letto e convertito da quello di post-processing. Per entrambi i traduttori, le caratteristiche del progetto (feature) e la history del modello, cioè le operazioni che si sono succedute sul modello CAD, e le variabili parametriche del progetto non vengono coinvolte nello scambio. La tendenza attuale mostra un interesse verso lo scambio di modelli parametrici, che consentono la manipolazione della geometria CAD come se fosse stata creata all'interno del sistema ricevente.

3.2. Convertitori diretti

Questo metodo prevede l'utilizzo di convertitori proprietari, ovvero programmi che non utilizzano i formati neutri eseguendo direttamente la conversione. Il vantaggio è quello di avere una corrispondenza molto precisa tra differenti prodotti. Di contro c'è però la richiesta di un convertitore per ogni applicazione.

3.3. Impiego formato nativo

I nuclei di modellazione geometrica, come ACIS e Parasolid, offrono ancora un differente metodo per lo scambio dati. Il kernel di modellazione è il cuore delle applicazioni CAD. Il nucleo memorizza e organizza le forme geometriche.

3.4. Interfacce di programmazione

Un altro metodo è quello di utilizzare un'interfaccia di programmazione API dei software CAD. Questo tipo di approccio richiede soluzioni differenti per ogni singolo software CAD, ma assicura buoni risultati. Attraverso l'API [2] lo sviluppatore può accedere ai dati creati dal sistema CAD ottenendo uno scambio di informazioni più efficienti. Oggi, tale metodologia è quella che garantisce notevoli risultati permettendo la traduzione dell'intero modello.

Il modello tradotto è corredato di tutte le informazioni sulla geometria e la topologia. Di contro vi è però la definizione da parte di ciascun produttore, un proprio ambiente API.

3.5. Dati tassellati

E' un metodo basato su tecniche di visualizzazione del modello digitale. I sistemi basati su questa tecnologia permettono di importare differenti file CAD, di visualizzarli e di poter essere manipolati. Sono molto diffusi i plug-in di differenti software CAD che permettono la visualizzazione dei modelli in ambiente web, navigando in ambiente 2D-3D anche se l'utente non possiede il software col quale è stato realizzato il modello.

La geometria del modello è rappresentata in modo semplificato senza penalizzare la resa realistica del modello. Tale tecnologia si basa sulla tassellazione, ovvero l'approssimazione delle superfici del modello con un insieme più o meno fitto di piccoli triangoli, come ad esempio i file XML e VRML. I vantaggi di questo tipo di rappresentazione è la capacità di rappresentare un modello con un buon livello di resa grafica.

4. Dati di scambio

In questo paragrafo sono elencati i principali file di scambio in ambiente CAx. Successivamente, ne viene fatta, una rapida descrizione per ciascuno.

- Nuvole di punti (ASC, CSV, IGS, OBJ, TXT, XYZ)
- Curve (IGS, OBJ, STP)
- Superfici (IGS, STP)
- Mesh (DXF, IGS, STL)

4.1. Formato ASC

E' il formato ASCII, ovvero di tipo testo, nel quale i punti, ovvero, i vertici, sono organizzati per righe. Le coordinate sono separate da un carattere, ad esempio la virgola.

4.2. Formato OBJ

Il formato Wavefront adottato per il trasferimento di informazioni geometriche e altre proprietà degli oggetti. I singoli vertici vengono numerati in modo crescente e il numero identificativo è preceduto da una p . Questo tipo di formato è presente in molti software CAD e di computer graphic perché risulta particolarmente completo nella descrizione delle comuni geometrie utilizzate.

4.3. Formato STL

Questo formato di interscambio è nato per i sistemi di Stereolitografia ed è stato successivamente esteso a quelli di Rapid Prototyping, ma anche comunemente utilizzato per il trasferimento di modelli in un qualsiasi ambiente CAx. Negli ambienti dove non è necessario avere una rappresentazione matematica esatta della superficie ma si deve avere un buon livello di dettaglio, si ricorre alla forma poligonale della superficie.

5. Progettazione di interfacce utenti

Gli utenti di un sistema spesso giudicano il sistema dalla sua interfaccia. Un'interfaccia progettata male può essere la principale fonte di errori da parte degli utenti, per questo non si deve mai perdere di vista la tipologia di utenza a cui è destinato il prodotto. Nella progettazione dell'interfaccia ha un ruolo rilevante il sistema di help che funge da guida dell'utente nelle operazioni da eseguire.

5.1. Interfacce grafiche - GUI (Graphical User Interface)

Questo tipo di interfacce sono costruite con finestre grafiche, utilizzano la rappresentazione di entità tramite icone, menu pull-down o pop-up, e dispositivi di selezione.

Attualmente sono diventate uno standard per workstation e personal computers. Infatti, tutti i software commerciali hanno sempre più cura dell'interfaccia utente, in modo da rendere il programma di facile e intuitivo accesso.

Le caratteristiche principali richieste sono:

- l'usabilità: facilità di apprendimento e di utilizzo

- l'efficienza: permettono il passaggio veloce da un comando all'altro e all'utente viene concesso di interagire con più applicazioni allo stesso tempo

5.2. Caratteristiche di una GUI

Mediante l'utilizzo di diverse finestre è possibile mostrare contemporaneamente drivers e informazioni. Le icone presenti rappresentano diversi tipi di files/processi. I Menu permettono di selezionare comandi direttamente invece di richiamarli tramite il corrispondente linguaggio. Inoltre, si fa largo uso di grafici e testo all'interno della stessa schermata.

La progettazione di GUI, [3], deve tener conto delle necessità, dell'esperienza e delle capacità degli utenti finali del sistema. Gli utenti devono essere consultati nel processo di progettazione e la progettazione deve essere raffinata attraverso prototipazione rapida, ovvero la costruzione di prototipi che venano sottoposti al giudizio dei fruitori del software.

Il sistema deve presentarsi consistente, ovvero, i comandi e i menu devono avere lo stesso formato e la modalità per selezionare i comandi deve essere omogenea.

Altra caratteristica fondamentale è che il sistema non deve sorprendere l'utente. Quest'ultimo dovrebbe essere capace di predire l'operazione di comandi simili, in modo da essere facilitato nella comprensione e nello svolgimento di differenti operazioni.

Inoltre, si deve prevedere la possibilità di correzione degli errori tramite l'utilizzo di comandi di UNDO, richiesta di conferma di operazioni distruttive e cancellazioni "soft". E' importante inoltre fornire, a corredo del software sviluppato, delle guide in linea, permettendo all'utente di poterle consultare in tempo reale, senza dover accedere a manuali cartacei, magari di difficile comprensione.

5.3. Interazione utente-sistema

Nella progettazione di un sistema interattivo bisogna porsi due domande:

- Come l'utente può fornire informazione al sistema?
- Come il sistema può presentare informazione all'utente?

L'interazione con l'utente e la presentazione di informazione devono essere integrati in modo coerente, usando una stessa metafora di interfaccia, ovvero con l'intenzione di riprodurre un ambiente di lavoro.

5.3.1. Manipolazione diretta

Le interfacce possono avere la caratteristica di permettere la manipolazione diretta dei dati. Tale interfaccia presenta agli utenti un modello del loro spazio di informazione che può essere modificato con azioni dirette.

NEWBOOK			
Title		ISBN	
Author		Price	
Publisher		Publication date	
Edition		Number of copies	
Classification		Loan status	
Date of purchase		Order status	

Fig. 1 – Esempio di interfaccia a manipolazione diretta.

Tra i vantaggi di questo approccio vi è la sensazione da parte dell'utente di avere il controllo diretto del computer. Gli utenti si accorgono subito degli errori e possono correggerli velocemente, e il tempo di apprendimento è relativamente breve.

Di contro, vi è però la difficoltà nella costruzione di un modello appropriato di spazio di informazione. Ovvero, quali strumenti vanno dati all'utente per modificare il proprio spazio di informazione.

Inoltre, interfacce di questo tipo possono essere complesse da programmare ed esigenti in termini di risorse.

5.3.2. Interfaccia a menu

In questo tipo di interfacce è possibile la selezione dei comandi tra una lista presentata dal sistema, usando il mouse, usando le frecce o scrivendo il nome del

comando da selezionare. E' possibile associarle a terminali di uso elementare come i touchscreen.

I tipi di menu possono essere del tipo:

- A scorrimento
- Gerarchici
- Walking menu
- Associati a pannelli di controllo

Il vantaggio di un a tale approccio permette all'utente di non ricordare i nomi dei comandi, perché gli è sempre riproposta la lista completa dei comandi validi. Inoltre, viene minimizzata la scrittura da tastiera e gli errori dell'utente vengono catturati dall'interfaccia.

Tra gli svantaggi c'è la difficile rappresentazione delle azioni che necessitano di congiunzione o disgiunzione, il numero di scelte è piccolo, altrimenti necessitano di una buona struttura bene dei menu. Infine, un utente esperto può trovare questo tipo di interfaccia molto più lento rispetto all'uso di un linguaggio di comandi

5.3.3. Interfacce “command-line”

Secondo questo approccio, gli utenti scrivono, mediante tastiera, le istruzioni per il sistema, come nel caso del sistema operativo Unix. Il modello può essere implementato usando terminali molto semplici. Risulta inoltre facile da elaborare usando tecniche di compilazione/interpretazione e mediante la combinazione di comandi è possibile crearne altri di complessità qualsiasi.

E' possibile creare interfacce concise che minimizzano la scrittura da parte dell'utente.

Questo approccio, preferito da utenti esperti, ha il vantaggio di avere un'interattività più veloce col sistema e gli script possono essere offerti come alternativi ai comandi di menu (shortcuts).

Ovviamente, un approccio di questo tipo non è adatto ad un utente inesperto o casuale.

Infatti, l'utente deve imparare e ricordare un linguaggio, può commettere errori e il sistema deve offrire la possibilità di recupero dalle situazioni di errore.

L'interazione con il computer avviene attraverso la tastiera, sicuramente meno veloce della semplice pressione del tasto del mouse.

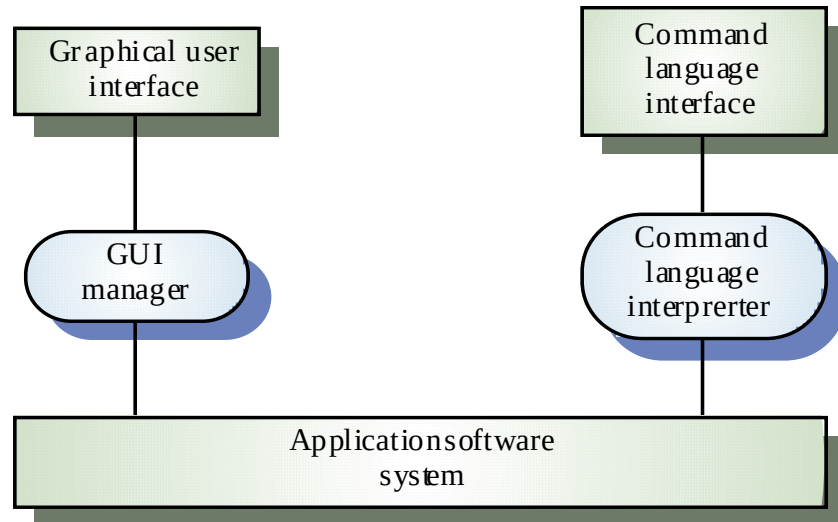


Fig. 2 – Differenti approcci mediante interfacce

5.3.4. Presentazione delle informazioni

Durante la progettazione dell'interfaccia bisogna tener conto del tipo di informazione che vuole avere l'utente. Se questa debba essere di tipo testuale o numerica, o necessitino entrambe.

La velocità di cambiamento dei dati può essere un fattore importante, si deve tener conto se l'utente è interessato ad avere un'informazione del genere e se debba essere indicata immediatamente.

Inoltre, il tipo di azione deve corrispondere al cambiamento dei dati: ad esempio, cambio della schermata, disponibilità di nuovi comandi, ecc.

La presentazione dei dati può essere del tipo:

- digitale: rappresentazione compatta, che può comunicare valori precisi
- analogica: fornisce con un'occhiata un'approssimazione dei valori, permettendo di mostrare i valori relativi, ed evidenziare i valori fuori norma

5.3.5. Guide per l'utente

Il sistema di guida utenti deve essere integrato con l'interfaccia, per aiutare l'utente quando necessita di informazioni o quando commette qualche tipo di errore.

La guida utente deve comprendere:

- messaggi del sistema, in particolare messaggi di errore
- documentazione offerta all'utente
- help in linea

I messaggi di errore devono essere consistenti e costruttivi. Nella loro progettazione formulazione è fondamentale la conoscenza del background e del livello di esperienza dell'utente.

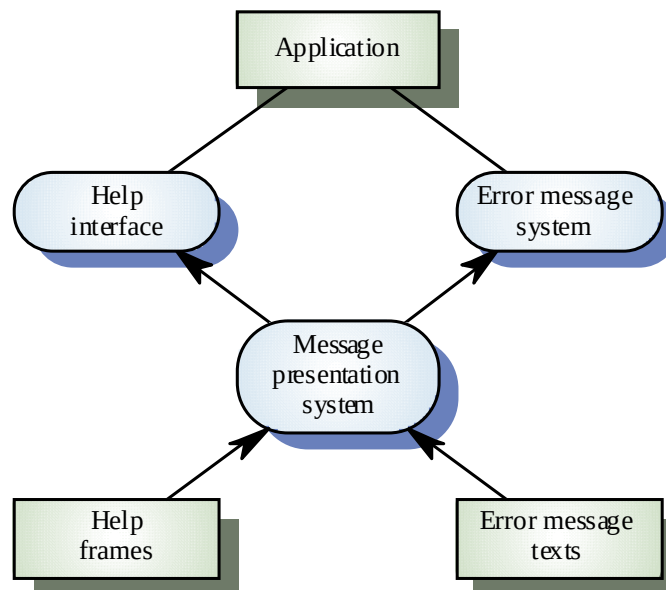


Fig. 3 - Sistema di help e di messaggi

Nella creazione di un Help devono essere soddisfatti i requisiti che si aspetta l'utente da un help, ovvero, un aiuto diretto e un accrescimento delle informazioni sui comandi.

Il sistema di help non deve essere solo un manuale in linea che può stancare o disorientare l'utente nella ricerca della soluzione al suo problema.

Bisogna prevedere diverse modalità di accesso alle voci, in modo che l'utente possa entrare nel sistema di help da punti diversi. Se viene utilizzato un approccio del genere è utile che venga indicato dove l'utente si è posizionato nel sistema di help.

L'utente dovrebbe essere facilitato nella navigazione e attraversamento del sistema di help mediante l'uso di "history", indici, links ipertestuali, ecc.

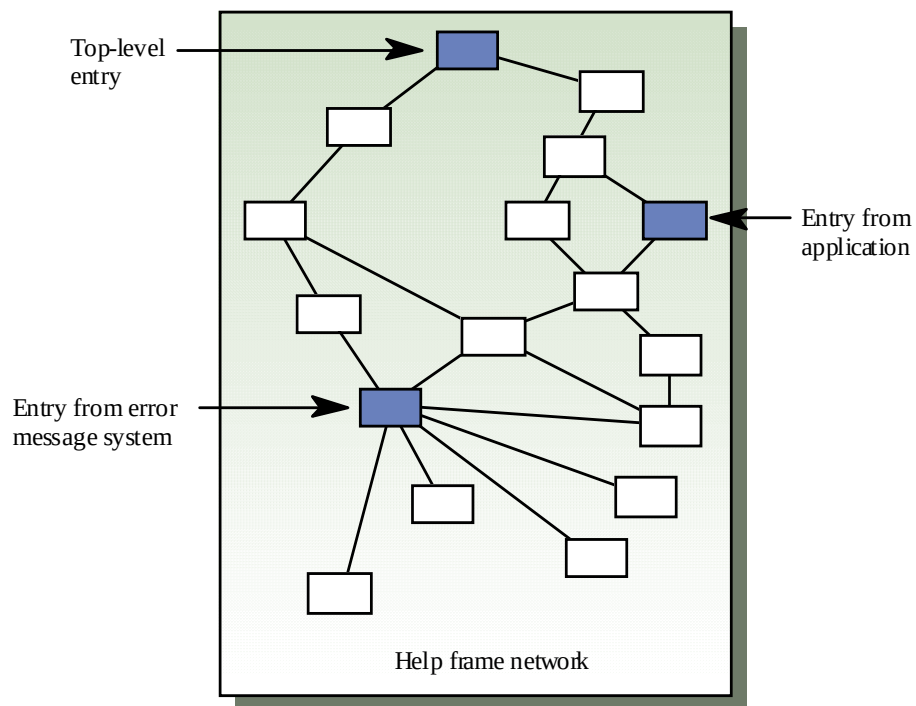


Fig. 4 - Voci di un sistema di help

Oltre alla documentazione in linea, bisogna offrire all'utente anche una documentazione cartacea relativa all'interfaccia utente

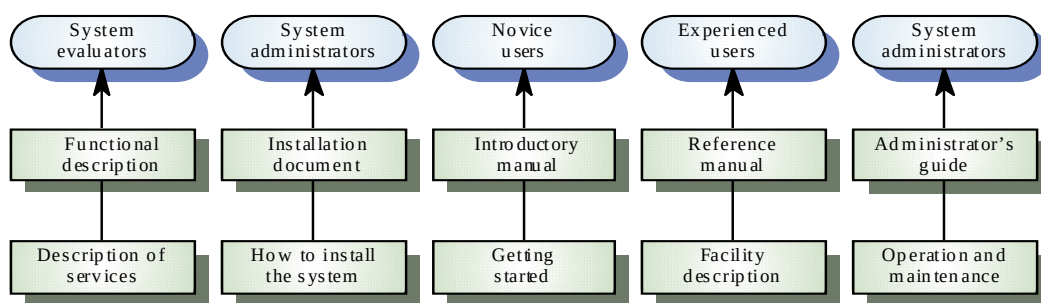


Fig. 5 – Documenti offerti agli utenti

6. Descrizione della metodologia adottata

Lo sviluppo di tale tecnica nasce con la mia tesi di laurea in cui veniva realizzato un modello dettagliato del corpo umano nelle configurazioni uomo donna e bambino. Il software sviluppato permette, mediante un'apposita interfaccia grafica, l'inserimento da parte dell'utente delle misure antropometriche rilevate sul soggetto di cui se ne vuole costruire il modello digitale. In questo modo ottiene un modello virtuale corrispondente alla realtà che può essere utilizzato per simulazioni e analisi del movimento, oppure per lo studio dell'interazione di un individuo all'interno di un ambiente di lavoro o l'interno di un'autovettura. Tale modello quindi può essere utilizzato nella progettazione e ottimizzazione di apparati dedicati a disabili. L'applicativo è stato sviluppato in Visual Basic in modo da utilizzare il protocollo di Ole Automation, che permette la comunicazione e lo scambio dati tra software differenti, in maniera del tutto automatica.

In seguito, nel corso del triennio di dottorato, tale metodologia è stata sviluppata e affinata in sia in questo contesto che in altri ambiti, tra loro differenti.

Oltre, quindi, nella modellazione CAD del corpo umano, è stata utilizzata per la risoluzione di problematiche della ricerca scientifica che via via si sono presentate, ovvero, la:

- costruzione di modelli parametrici di abitacoli di autovetture
- ricostruzione virtuale di reperti archeologici

Ciascuna applicazione, tramite la propria finestra grafica, è collegata ad un nucleo di elaborazione che si avvale sia di librerie comuni della piattaforma Ole sia delle librerie matematiche proprie dei codici in cui è stato sviluppato. In questo modo si sono potute utilizzare le potenzialità differenti delle diverse componenti software installate su PC.

Nel caso, ad esempio, della ricostruzione virtuale di reperti archeologici si è sfruttata, da un lato la capacità di comunicazione del protocollo di automazione con il software di post-processing, dall'altro le elevate capacità di calcolo del linguaggio Fortran per la risoluzione di processi matematici di tipo iterativo.

6.1. La scelta dello sviluppo di interfacce

Come motivato nei paragrafi precedenti, § 3.4, le interfacce di programmazione che sfruttano il protocollo API permettono un trasferimento di informazioni più efficace, tale da consentire la conservazione delle informazioni nel passaggio da un software ad un altro. Tale tipo di approccio ha permesso la manipolazione diretta delle informazioni contenute nei file di scambio.

Un modello creato all'interno di un ambiente software, può essere importato in un altro con la garanzia di non perdere informazioni sulle feature e, inoltre, può essere manipolato per il proprio scopo.

La tecnologia che è alla base di questo tipo di programmazione è la Ole Automation, propria di alcune piattaforma software.

6.2. Il protocollo di Ole Automation

OLE sta per Object Linking ed Embedding (collegamento e incorporamento di oggetti). L'idea di fondo è quella di avere un modo di lavorare centrato sul documento. In base a questo concetto, OLE consente di inserire all'interno di un documento prodotto da un'applicazione (es: Microsoft Word) un sottodocumento prodotto e gestito da un'altra applicazione (es: una tabella Excel). La prima versione di OLE, risalente al '90, si basava su DDE e, per questo, era molto fragile e lenta.

Era necessario trovare un meccanismo più robusto ed efficiente su cui poggiare OLE: il modello Component Object Model (COM). Il protocollo DDE, Dynamic Data Exchange, permette al documento di destinazione di recuperare dinamicamente i dati associati quando essi sono modificati nel documento sorgente. L'utente, quindi, non deve aggiornare manualmente ogni file che contiene tali dati.

Un'altra caratteristica di DDE è la possibilità di controllare un'applicazione da parte di un'altra. Esiste la possibilità, in altre parole, di inviare dei comandi, oltre quella di scambiare dati.

COM è di dimensioni più contenute, più rapido, flessibile e affidabile di DDE. OLE, quindi, fu riscritto in una seconda versione, utilizzando COM.

Il protocollo Ole, quindi, è uno standard delle applicazioni Microsoft che permette che le informazioni siano condivise tra applicazioni che supportano questa proprietà.

La Ole include due sottoinsiemi di funzionalità:

1. Linking and Embedding
2. OLE Automation

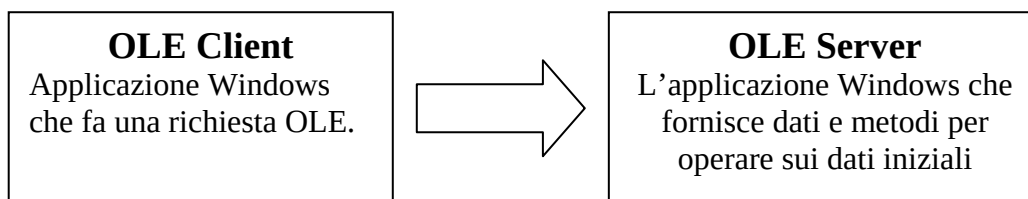


Fig. 6 – Schema di funzionamento di un'applicazione Ole

Tra i principali benefici che si ottengono dallo sfruttamento di tali procedure ci sono la condivisione dell'informazione secondo uno standard e la garanzia che le operazioni sui dati (metodi) sono fornite dall'applicazione. La OLE usa un approccio di programmazione di tipo Object-oriented, nel nostro caso il linguaggio di programmazione utilizzato è stato il Visual Basic.

Gli **“Objects”** includono:

1. Dati
2. Methods: operazioni che vengono fatte sui dati

Nelle applicazioni un tipico problema è la pressione di un bottone. L'utente infatti si aspetta una risposta da parte dell'applicazione.

La soluzione classica della programmazione ad oggetti si basa sull'ereditarietà, ovvero, la classe Bottone definisce un “metodo” astratto che viene invocato all'atto della pressione.

Vediamo brevemente alcuni fra i modelli di componenti più usati:

- **VBX**: (Microsoft) legati al Visual Basic, hanno decretato il successo di questa tecnologia. Essendo strettamente legati agli ambienti a 16 bit stanno cadendo in disuso.
- **ActiveX** (Microsoft): basati su COM, indipendenti dal linguaggio
- **VCL** (Borland) legati agli ambienti di sviluppo Borland (Delphi, C++Builder)
- **JavaBeans** (Sun/Borland): componenti di Java (1.1), nascono dalla collaborazione tra Sun e Borland e derivano dall'esperienza VCL
- **SOM** (IBM): CORBA (1.2 e 2.0) compliant, indipendenti dal linguaggio.

6.2.1. Le caratteristiche.

Lo *scambio dinamico di dati*, o DDE, è la funzionalità supportata dal sistema operativo Microsoft Windows che consente a due applicazioni di "comunicare" scambiando dati in modo continuato e, se si desidera, automatico. Tecnicamente, è un protocollo di comunicazione tra processi asincrono, basato su messaggi, che utilizza memoria condivisa (shared memory) per lo scambio di dati.

Lo scambio di informazioni tra due applicazioni avviene attraverso una conversazione DDE. L'applicazione che inizia la conversazione è definita *destinazione*; l'applicazione che risponde alla destinazione è definita *origine*. Un'applicazione può instaurare più conversazioni contemporaneamente ed essere la destinazione in alcune, l'origine in altre.

Quando una destinazione inizia una conversazione DDE, deve necessariamente specificare:

- nome dell'applicazione di origine;
- argomento di conversazione

La combinazione applicazione-argomento identifica in modo univoco la conversazione e rimane costante per tutta la durata della stessa. Quando un'applicazione di origine risponde a una richiesta di conversazione relativa a un argomento che riconosce, viene avviata la conversazione. Dopo aver instaurato la conversazione, non è possibile cambiare argomento o applicazione. Se la destinazione o l'origine cambiano applicazione o argomento, la comunicazione viene interrotta. Durante la conversazione, la destinazione e l'origine possono scambiare informazioni relative a uno o più *elementi*. Gli elementi sono riferimenti a dati significativi per entrambe le applicazioni. Sia la destinazione, sia l'origine, possono cambiare elemento senza alterare lo stato della conversazione.

L'insieme di applicazione, argomento ed elemento identifica in modo univoco i dati scambiati tra le due applicazioni.

Le applicazioni che possono essere sorgenti DDE hanno un nome dell'applicazione univoco, che in genere corrisponde al nome del file eseguibile senza estensione (es: Microsoft Excel: Excel, Microsoft Word per Windows: WinWord, ...). Le applicazioni che intendono instaurare un colloquio DDE con un'applicazione sorgente, devono conoscerne il nome.

L'argomento definisce l'oggetto di una conversazione DDE e corrisponde generalmente a una determinata unità di dati significativi per l'applicazione d'origine. La maggior parte delle applicazioni riconosce il nome di un documento come argomento per una conversazione DDE. Per esempio, Microsoft Excel riconosce i nomi di file con estensione XLS, mentre Word riconosce i file *.doc. L'argomento, comunque, dipende dall'applicazione di origine con cui si intende comunicare.

L'elemento identifica i dati che vengono effettivamente trasmessi durante la conversazione DDE. Per esempio, Microsoft Excel riconosce come elementi di una conversazione i riferimenti di cella.

Spesso una conversazione DDE è definita, più o meno erroneamente, collegamento, in quanto le due applicazioni coinvolte appaiono collegate per mezzo dei dati che si stanno scambiando.

Esistono tre tipi di collegamento DDE, che si differenziano per il modo in cui l'origine aggiorna la destinazione, quando i dati dell'origine vengono modificati:

- *Collegamento automatico.* L'origine fornisce alla destinazione i dati definiti come elementi della conversazione ogni volta che essi vengono modificati.
- *Collegamento manuale.* L'origine fornisce i dati solo quando la destinazione li richiede.
- *Collegamento di notifica.* L'origine notifica la destinazione quando i dati vengono modificati, ma li fornisce solo quando la destinazione li richiede.

La tendenza attuale è di abbandonare il protocollo DDE spostandosi sull'utilizzo di protocollo COM.

6.2.2. Utilizzo delle COM

COM può essere descritto come un metodo per sviluppare componenti software, cioè file binari eseguibili che offrono servizi per applicazioni, sistemi operativi e altri componenti. Tali componenti vengono connessi tra loro per formare applicazioni complesse e hanno la possibilità di essere sostituiti in fase di esecuzione, senza dover effettuare nuovamente il linking dell'applicazione.

Tecnicamente, COM è un modello binario di interazione fra processi, basato su componenti e su un meccanismo di comunicazione client/server di tipo sincrono.

Le specifiche definiscono uno standard *binario* per la creazione di componenti in

grado di interagire fra di loro. Trattandosi di uno standard binario esiste una completa indipendenza dal linguaggio di programmazione usato per realizzare i componenti e le applicazioni che li utilizzano.

Di fatto, COM non è solo un insieme di specifiche di progettazione e programmazione, ma è supportato da alcuni servizi di sistema (supporto runtime), costituito da una API, la libreria COM, che offre utili servizi di gestione dei componenti.

Il supporto runtime è costituito da una DLL di sistema che fornisce i servizi necessari per l'accesso ai componenti.

6.2.3. Lo sviluppo di software

La tecnologia dei componenti (tra cui COM e ActiveX) ha come obiettivo la definizione di una metodologia industriale per la produzione del software. Il modello a cui ci si ispira è l'industria dell'hardware: le applicazioni devono essere costruite come i computer, con una struttura modulare che utilizza, a vari livelli, componenti standard.

Un componente è l'analogo software di un circuito integrato, che comunica con l'esterno attraverso una serie di "pin". Un'applicazione in grado di incorporare componenti viene definita "container" ed è l'equivalente software di una scheda elettronica.

Abbiamo tre tipi di "pin": proprietà, metodi, eventi.

- Proprietà: "pin" di stato, pseudo-variabili che consentono di agire in modo protetto e controllato sullo stato interno del componente;
- Metodi: "pin" di ingresso, comandi che provocano l'esecuzione di azioni da parte del componente;
- Eventi: "pin" di uscita, provocano l'esecuzione di metodi nel container (callback), in seguito a qualcosa che si verifica nel componente.

Il modello basato su questi tre concetti viene comunemente chiamato PEM (Properties Methods Events).

I componenti sono strettamente legati agli "application builder", ovvero ad ambienti di sviluppo in grado di utilizzarli in modo efficiente. Esempi di application builder in

commercio sono: Borland Delphi, Borland C++ Builder, Microsoft Visual Basic, Sun Java Workshop, per citare i più diffusi.

La caratteristica più importante degli application builder è il cosiddetto “design time”, ovvero una situazione di progettazione dell'applicazione, in cui è possibile incorporare componenti ed interagire dinamicamente con essi, in modo da definirne aspetto e comportamento. All'avvio dell'applicazione i componenti vengono attivati con lo stato iniziale definito a design time. Per supportare questa modalità di funzionamento occorrono determinate caratteristiche da parte dei componenti software:

- Introspezione: capacità di fornire una descrizione delle proprie caratteristiche (proprietà, metodi ed eventi) in modo da consentire l'interfacciamento dinamico e l'esplorazione del componente da parte dell'ambiente di sviluppo;
- Serializzazione (o persistenza): capacità di memorizzare il proprio stato in uno stream e di ricaricarlo successivamente. La serializzazione consente la memorizzazione dello stato a design time e il successivo ripristino a run-time.

Bibliografia.

- [1] S. Gerbino, *“Analisi ed impostazioni di protocolli di scambio dati”*, in Archiviazione e restauro di reperti archeologici mediante tecniche CAD-RP, 2004
- [2] Visual Basic Application Programming Interface – Manuale di programmazione dei software Visual Nastran, Mechanical Desktop e Rapid Form
- [3] Geoff Kitchin, *“Design and Evaluation of a Graphic User Interface for an Air Traffic Control Tower (GAAP) Flight Progress Monitoring System”*, Australian Conference on Computer-Human Interaction, Brisbane, Australia, November 2003, 2003

CAPITOLO III

RICOSTRUZIONE DI REPERTI ARCHEOLOGICI

1. Introduzione.

Nell'esplorazione dei siti archeologici vengono alla luce numerosi frammenti di oggetti, che devono essere misurati e catalogati per poter essere successivamente combinati per tentare di ricostruire, quando possibile, l'oggetto nella sua forma originale. Tale operazione è molto complessa e delicata, dato l'elevato numero di reperti presenti in un sito e la loro fragilità. Per poter rilevare, al fine della successiva ricostruzione, le caratteristiche geometriche dei frammenti, c'è la necessità di dover manipolare gli oggetti stessi, con conseguente rischio di danneggiamento, vista la fragilità intrinseca che essi possiedono. Oggi tali operazioni vengono svolte completamente a mano e questo, a causa della fragilità di cui sopra e dell'alto numero dei reperti da rilevare, comporta dei tempi molto lunghi che possono arrivare sino ai tre quarti della durata dell'intero progetto relativo al sito in esame. Da tali considerazioni è nata l'idea di applicare a tale settore le nuove tecnologie di rilievo e ricostruzione virtuale basate sull'impiego di scanner laser tridimensionali [1]. Tali tecniche presentano diversi vantaggi [2], come quelli di avere tempi di rilievo molto brevi con risultati accurati e di fornire il modello digitalizzato dell'oggetto. Particolarmente interessante è questa ultima caratteristica, in quanto, disponendo del modello CAD tridimensionale del frammento rilevato, è possibile effettuare in virtuale tutte le successive operazioni: l'estrazione dei parametri geometrici, la catalogazione e la ricostruzione dell'oggetto intero [3] [4]. Oggetto del presente studio sono stati i frammenti di vasellame appartenenti al sito archeologico tra Gromola e il fiume Sele nel salernitano, sito che presenta la caratteristica di avere un numero elevatissimo di reperti. Finalità del progetto, in cui si è inserito tale studio, è

lo sviluppo di una metodologia che consenta di effettuare in modo veloce ed automatizzato il rilievo, la catalogazione e la ricostruzione [5] di reperti archeologici. E' stata quindi sviluppata una metodologia completa che consente, partendo dal frammento, di rilevarlo, catalogarlo ed estrarne i parametri geometrici in modo completamente automatico. Inoltre è possibile orientarlo correttamente nello spazio, estraendone l'asse di rivoluzione, e, mediante il rilievo delle curve di bordo, associare ad esso i frammenti eventualmente compatibili, per poter effettuare la ricostruzione del reperto intero. Dall'analisi dei profili inoltre è possibile risalire al vaso archetipo di appartenenza. Il lavoro svolto, ha comportato lo sviluppo di una metodologia completa, che partendo dall'analisi di mercato per l'individuazione delle attrezzature più idonee, ha portato allo sviluppo di tools completi che consentono di effettuare automaticamente le operazioni precedentemente descritte.

2. La fase sperimentale.

2.1 La scelta dell'attrezzatura.

Le tecniche di misura senza contatto, come quelle basate sulla luce strutturata, hanno trovato larga diffusione nella metrologia industriale, nel reverse engineering e in molti settori anche non tecnologici [6]. Tecnologie basate sull'uso del laser tentano di ricostruire gli oggetti o l'ambiente attraverso la proiezione di luce artificiale ed il rilevamento di punti mediante sensori ottici. I risultati sono costituiti da fitte mappe di punti 3D rilevati dalla superficie visibile, che vengono poi triangolarizzati fornendo così il modello digitale della superficie dell'oggetto rilevato. Nell'ambito delle specifiche si aveva l'esigenza di un sistema compatto di rilevazione 3D laser a non contatto per applicazioni di archiviazione e ricostruzione di reperti archeologici, con particolare riferimento a frammenti di vasellame. Le necessità di tempi rapidi di acquisizione ed eventualmente di operatività direttamente sul sito sono alcune delle peculiarità richieste al sistema. Altra caratteristica deve essere la fruibilità, in quanto spesso utilizzato da personale non necessariamente esperto in ambito tecnico. Dal punto di vista ingegneristico invece il sistema doveva rispondere alle seguenti specifiche:

- rapidità di acquisizione;

- volumi di rilevamento adeguati;
- nuvola di punti sufficientemente ampia per garantire la precisione necessaria della misura;
- risoluzione del problema del sottosquadro con acquisizioni multiple e ricostruzione automatica della tridimensionalità dell'oggetto;
- filtrazione corretta dei punti rilevati (eliminazione dei punti spuri);
- possibilità di applicazione di texture;
- formati di output con standard universalmente compatibili.

E' stato quindi necessario ricercare tali caratteristiche nei prodotti disponibili attualmente sul mercato. In questa ricerca si è proceduto cercando dapprima in letteratura sistemi di acquisizione utilizzati per applicazioni nel settore archeologico, in modo da limitarne il numero per un successivo confronto. I sistemi che prevedono un sistema di acquisizione a non contatto montato su di un braccio antropomorfo, come quelli prodotti dalla 3DScanners e dalla Perceptron, non sono stati presi in considerazione perché ovviamente non soddisfacevano la caratteristica di trasportabilità. Inoltre, si è preferito considerare scanner dotati di video camera perché permettono l'acquisizione della texture degli oggetti, elemento di particolare importanza per quel che riguarda la catalogazione e l'archiviazione dei reperti storici. La ricerca svolta ha portato alla scelta del modello Vivid 700 (fig.1), prodotto dalla Minolta, che sembrava rispondere ai requisiti richiesti, anche in relazione alle disponibilità economiche. Lo scanner 3D portatile, pesa 9 kg, è dotato di auto focus e zoom, display a colori e pannello di controllo. Il sistema di scansione con specchio galvanometrico e l'elaborazione rapida dell'immagine, permettono un tempo di scansione pari a 0.6 secondi. Questo scanner ha una area di scansione che va da 70 mm x 70 mm a 1100 mm x 1100 mm, distanza dall'oggetto variabile tra 0.6m e 2.5 m e una risoluzione geometrica pari a 200x200 punti. Il software in dotazione permette, oltre il completo controllo dello scanner e della piattaforma girevole motorizzata, di elaborare i dati e di esportarli sottoforma di mesh poligonali, di gouraud-shading di immagini a colori o di texture nei formati: DXF, Wavefront, Softimage, Open Inventor, ASCII. Il modello è stato completato dai seguenti accessori: tavola rotante comandabile da PC, cavalletto di sostegno e scheda pcmcia per il trasferimento dati. L'insieme delle caratteristiche sopra menzionate sono alla

base della scelta. Esaminandole in dettaglio appaiono infatti molto interessanti in relazione all'impiego cui è destinata la macchina. L'uso combinato dell'immagine bitmap dell'oggetto accoppiata con il modello virtuale dello stesso, infatti, oltre a fornire altri elementi impiegabili nella costruzione di un database, quali colore, scritte ecc., appare particolarmente utile nella ricostruzione di oggetti che presentano geometrie complesse e sottosquadri; in tal caso è infatti possibile risolvere il problema acquisendo più scansioni da diverse angolazioni dell'oggetto stesso e ricostruire la vera forma, sovrapponendo almeno tre punti caratteristici dell'oggetto (o 3 markers precedentemente applicati); il software di corredo è in grado di eliminare automaticamente le sovrapposizioni delle mesh restituendo la geometria dell'oggetto stesso. Particolarmente interessante appare l'impiego dello scanner insieme alla tavola rotante; quest'ultima infatti è comandata direttamente dal programma che controlla lo strumento permettendo così di effettuare acquisizioni sincronizzate secondo angoli prefissati (ad esempio 6 acquisizioni, una ogni 60° per un totale di 360°). Tale opportunità risolve in molti casi il problema della manipolazione dei reperti archeologici, che come tali presentano caratteristiche intrinseche di fragilità; una volta posizionato l'oggetto, in modo opportuno, sulla tavola rotante, non è più necessario muoverlo per acquisire le diverse scansioni necessarie alla ricostruzione della forma tridimensionale completa, ma sarà la tavola a ruotare, riducendo sensibilmente i rischi di danneggiamento. Una volta effettuate tutte le misure, l'oggetto viene ricostruito in modo semiautomatico all'interno del software di controllo dello scanner, software che esegue il merging delle varie acquisizioni, eliminando automaticamente gli elementi sovrapposti. Si sottolinea inoltre che la tavola rotante ha una capacità portante di circa 70kg, e può pertanto essere impiegata anche per pezzi di peso e dimensioni notevoli. Da sottolineare infine la fruibilità dell'apparecchiatura, controllabile direttamente dal PC (anche nelle funzioni di zoom e taratura) o impiegabile autonomamente con possibilità di scambio dei dati delle acquisizioni mediante scheda di memorizzazione PCMCIA. Si sottolinea che la facilità d'impiego è fondamentale in quanto è destinata ad essere impiegata da persone non necessarie esperte in tale settore, quali archeologi. Per quanto riguarda le prestazioni, analizzate più in dettaglio nel paragrafo seguente, la scelta del modello VIVID700 è motivata anche dal numero dei punti rilevati.



Fig. 1 – Lo scanner 3D durante la fase di acquisizione

Tale situazione, unitamente al costo dello scanner, fa lievitare sensibilmente la spesa richiesta, ben al di là delle possibilità economiche offerte dal finanziamento del progetto. Peraltro, non essendo disponibili al momento, computer portatili con siffatte caratteristiche si ha anche una diminuzione della trasportabilità dell'attrezzatura. Il modello acquistato invece, acquisendo circa 40.000 punti per volta, anche nel caso precedente è impiegabile agevolmente con un PC portatile dalle buone caratteristiche quale quello impiegato che presenta un processore Pentium 4M – 1.6GHz con 512 MB di ram. A completamento della strumentazione si è scelto di acquistare anche il software RapidForm2004; tale programma, che è quello di riferimento per quanto riguarda la gestione e ricostruzione tridimensionale di oggetti scannerizzati, consente, come analizzato in dettaglio nei paragrafi successivi, sofisticate ricostruzioni con la possibilità di estrarre in modo automatico molteplici parametri geometrici utili per la caratterizzazione e catalogazione del reperto.

2.2. La taratura dell'attrezzatura.

Scelta l'attrezzatura, sono state effettuate delle prove per valutare le possibilità ed i limiti di applicazione e per risolvere le problematiche relative all'applicazione di tali tecnologie. Nel corso delle prove preliminari sono emersi i seguenti limiti nell'uso della macchina in esame:

- a) scansione di oggetti piccoli
- b) proprietà delle superfici degli oggetti da acquisire e condizioni ambientali (illuminazione)
- c) effetto di bordo
- d) sottosquadro

Sono state esaminate le possibili operazioni per eliminare o ridurre i limiti sopra citati. Tali accorgimenti sono solo di tipo "hardware", nel senso che riguardano principalmente l'ottimizzazione delle tecniche di scansione; un paragrafo a parte sarà dedicato al trattamento dei dati mediante software che consente di ottimizzare i ed eventualmente correggere, mediante l'uso di tools e funzioni specifiche, i modelli rilevati.

a) scansione di oggetti piccoli

Come accennato nel precedente paragrafo le difficoltà sono legate principalmente alla minima distanza focale, alla quotaparte di raggio laser che tocca l'oggetto ed agli effetti di bordo. Da differenti prove è emerso che notevoli miglioramenti possono essere ottenuti incollando l'oggetto su una superficie opportuna più grande; tale accorgimento consente una messa a fuoco più agevole ed elimina gli effetti di bordo con un netto miglioramento della qualità e precisione della scansione. Un ulteriore accorgimento è quello di isolare la zona da rilevare dallo sfondo. Più precisamente bisogna ricoprire il volume di acquisizione con uno sfondo nero opaco (mediante stoffa o cartoncino neri). Il sistema non rileva oggetti di color nero, pertanto tale accorgimento, di validità generale e da applicare anche con oggetti grandi, permette di isolare l'oggetto dall'ambiente, facendolo risaltare e migliorando molto la messa a fuoco. Un'altra accortezza è quella di effettuare test sulla macchina per ottimizzare le condizioni di ripresa. Il VIVID700, dispone infatti di un suo visore e della possibilità di funzionamento autonomo senza collegamento al computer. Dalle prove effettuate è emerso che se si ottimizzano le condizioni di ripresa prima di operare da computer,

le operazioni successive risultano poi molto più agevoli e precise. Si consiglia anche un bilanciamento del bianco, quando ci siano condizioni di ripresa variabili.

b) proprietà delle superfici degli oggetti da acquisire e condizioni ambientali (illuminazione)

Uno dei principali problemi, peraltro comune a tutta la categoria degli scanner operanti mediante laser, è legato alle caratteristiche delle superfici degli oggetti da rilevare. Tali sistemi infatti funzionano molto bene quando le superfici da rilevare sono opache e di colore chiaro. Non rilevano superfici nere, rosse e poche le azzurre e hanno molti problemi con le superfici parzialmente riflettenti e non funzionano affatto con quelle a specchio. In tali casi sono percorribili diverse strade: nel caso di superfici trasparenti o totalmente riflettenti, ed anche per quei colori non letti dal laser, l'unica soluzione è quella di opacizzare le stesse; a tal proposito esistono in commercio diversi spray che in pratica sono delle polveri che opacizzano la superficie e possono essere rimosse agevolmente mediante soffiatura o con un pennello. Una ricerca di mercato ha portato ad individuare i seguenti prodotti come fra i più efficaci: K-Line dulling Spray Matt, spray ROCOL rilevatore di fughe(catalogo RS) si noti come il prodotto Rocol è in realtà uno spray per la rilevazione di fughe di gas, ma sembra funzionare molto bene e talvolta meglio di alcuni spray specifici; per le superfici lucide, parzialmente riflettenti o con colori rilevabili, ma con difficoltà, dalle prove è emerso che si può agire sia variando l'intensità del raggio laser, sia aumentando la luminosità dell'oggetto illuminandolo uniformemente da più lati. Le luci al neon sembrano in tal caso funzionare meglio, ma anche con luci ad incandescenza, opportunamente disposte i risultati sono molto buoni. Importante è invece che l'illuminazione provenga da tutte le direzioni, e quindi conferisca una luminosità omogenea all'oggetto.

c) effetto di bordo

Tale inconveniente si verifica in quanto in prossimità dei bordi dell'oggetto, nella zona di discontinuità, il raggio laser subisce una diffrazione più o meno accentuata in funzione della forma e materiale del bordo stesso. Si può ovviare a tale inconveniente in diversi modi, alcuni "hardware" già accennati che consistono principalmente nell'incollare gli oggetti piccoli su sfondi più grandi e di utilizzare

zone di acquisizione con sfondi neri. Molto efficace risulta però in tal caso l'impiego di tool software specializzati che consentono di eliminare il problema.

c) sottosquadro

Tale problema è comune a tutti gli scanner operanti con tecnologia laser. E' infatti evidente che viene acquisita sola la parte dell'oggetto che è in vista e che viene investita dal raggio laser; viceversa i sottosquadri e le facce non in vista ovviamente non vengono acquisite. Generalmente sono infatti necessarie più acquisizioni per determinare completamente il modello dell'oggetto. E' questa però la fase più critica in quanto la ricostruzione diventa assai complessa. Le diverse acquisizioni, infatti, vanno collegate assieme sovrapponendo le mesh, eliminando le mesh ridondanti e chiudendo eventuali fori, sequenza di operazioni questa molto lunga e difficoltosa. Nel nostro caso si aggiunge l'ulteriore complicazione della fragilità intrinseca dei frammenti che ne sconsiglia eccessive manipolazioni. Per ovviare a questo è consigliabile, in genere, acquisire il pezzo con un'angolazione di ripresa che consenta di vedere più facce contemporaneamente in modo da limitare il numero delle acquisizioni. Va sottolineato che il software provvede anche ad effettuare un controllo ed a segnalare la "bontà" o meno della sovrapposizione. Tale possibilità è presente anche nel software di base fornito con la macchina. Infine la tecnica migliore è quella di utilizzare lo strumento insieme alla tavola rotante. In tal caso è possibile effettuare diverse acquisizioni ogni un certo numero prefissato di gradi; successivamente, dopo l'individuazione del centro di rotazione mediante l'acquisizione di un riferimento, il software esegue automaticamente il merging di tutte le acquisizioni effettuate. Tale tecnica, unitamente a quella precedentemente descritta per il collegamento della faccia che poggia sulla tavola rotante, consente di ricostruire in modo completo e relativamente veloce, l'oggetto nella sua interezza. Tale metodo, come illustrato successivamente è stato utilizzato per la scansione di oggetti complessi e del vaso di test del progetto. Si sottolinea infine che tale tecnica appare particolarmente utile nel nostro caso specifico, in quanto limita il numero di manipolazioni del reperto; una volta posizionato sulla tavola rotante, e quest'ultima che si muove ed il pezzo viene spostato solo un'altra volta per acquisire la faccia secondo cui era stato posizionato inizialmente sulla tavola. Tarata l'attrezzatura, sono state effettuate delle scansioni su oggetti di forma e superfici differenti. I risultati

ottenuti sono stati ampiamente soddisfacenti ed hanno confermato la bontà delle scelte operate.

2.3. Il test case.

Nel progetto in esame, si è scelto un vaso come *test case* da rilevare, modellare ed analizzare, da ogni sede, secondo le modalità ritenute più opportune; ciò al fine di effettuare un confronto sulle diverse tecniche di rilievo, ricostruzione ed analisi. Il vaso, seppur di recente produzione, presenta materiali e forme affini e confrontabili con quelle possedute dai reperti presenti nel sito archeologico del progetto. Il vaso è rappresentato in fig. 2, in cui sono visibili anche i markers necessari per la sovrapposizione delle diverse acquisizioni.



Fig. 2 - Il vaso di test case

Il vaso presenta anche una sbecatura nella parte superiore (fig. 2). Sono state anche qui effettuate sei acquisizioni del vaso, una ogni 60°, con l'ausilio della tavola rotante, più una settima necessaria per l'acquisizione del fondo (fig. 3). Le prime sei sono state assemblate in automatico (dato l'uso della tavola rotante) mentre la settima è stata montata con la tecnica della sovrapposizione di punti noti (i tre markers bianchi) precedentemente descritta.



Fig. 3 - Markers presenti sul fondo del vaso

Il vaso presentava una superficie con dorature parziali, riflettenti, che hanno complicato il rilievo dello stesso. Tuttavia curando particolarmente, con la tecnica precedentemente descritta, l'illuminazione ed agendo sull'intensità del laser si sono avuti risultati apprezzabili. Nelle fig. 4 e 5 sono mostrati il modello comprensivo in un caso anche della bitmap rilevata, e il particolare della sbeccatura.

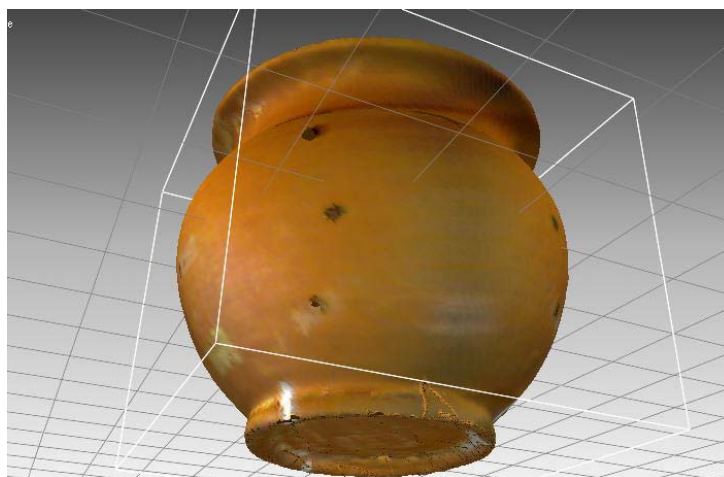


Fig. 4 - Modello digitale del vaso con bitmap.

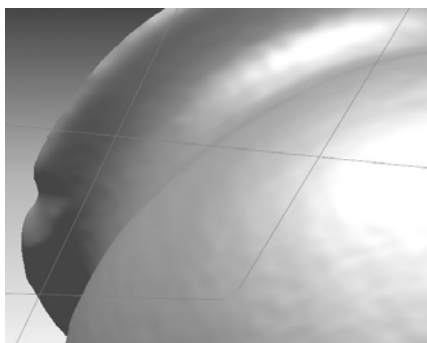


Fig. 5 - Particolare della sbeccatura.

Come si può notare, il risultato appare molto soddisfacente e sembra avallare la scelta di utilizzare le suddette tecnologie in tale ambito. Il modello mostrato nelle precedenti figure è già stato opportunamente trattato con i filtri di smoothing e sono state eliminate le facce irregolari. Il modello ha utilizzato 7 scansioni per un totale di circa 280.000 punti, che opportunamente combinati e depurati delle parti sovrabbondanti, hanno prodotto un modello a 87364 punti e 174248 facce. Tale mole di dati comporta una capacità di calcolo elevata da parte dell'elaboratore. Il modello è stato sviluppato con il massimo delle potenzialità offerte dallo scanner e in molte applicazioni, la precisione fornita da un numero di punti minore è sufficiente, ma in questa fase è importante testare le effettive potenzialità del sistema. Ottenuto il modello precedentemente descritto sono state effettuate le seguenti analisi:

- Estrazione dei valori di curvatura del modello
- Valutazione dell'orientazione angolare delle facce costituenti il modello
- Costruzione delle curve di contour secondo diverse direzioni
- Estrazione delle sezioni radiali, assiali e circonferenziali
- Estrazione dei diversi parametri dimensionali del vaso e delle sezioni
- Estrazione di tutti i punti relativi agli assi medi delle facce della mesh
- Valutazione delle normali alla superficie
- Costruzione delle curve spline di interpolazione e loro valutazione

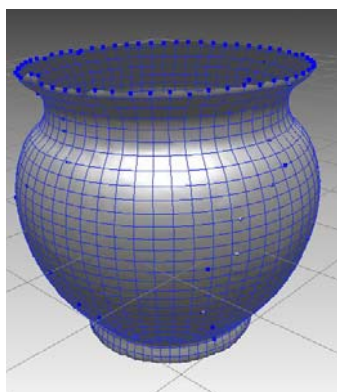


Fig. 6

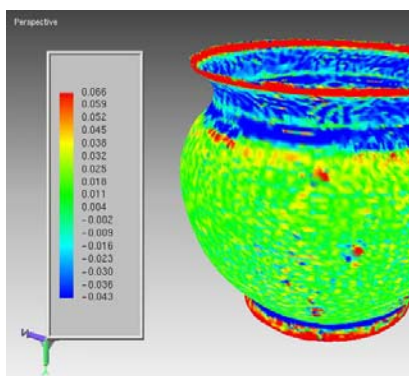


Fig. 7

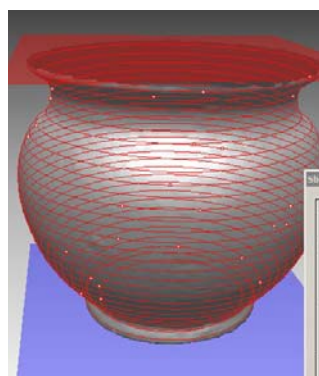


Fig. 8

Fig. 6 - Curve di interpolazione dei punti del modello

Fig. 7 - Curvature del modello

Fig. 8 - Sezioni del modello.

Nelle fig. 6,7,8 sono riportate rispettivamente le curve spline di interpolazione dei punti del modello, la valutazione della curvatura media del modello e la costruzione di sezioni perpendicolari all'asse di simmetria del vaso.

Le curve spline sono state infine esportate in formato IGES, per valutare, oltre che la bontà dell'interpolazione, anche l'efficienza dei formati di scambio presenti in RapidForm2004. Successivamente, al fine di valutare la possibilità di impiego di un numero di punti ridotto, sono state effettuate riduzioni a 16533 e 6258 punti.

Per tali riduzioni, mentre sostanzialmente rimane preservata la geometria iniziale, vanno progressivamente attenuandosi le informazioni relative ai particolari e dettagli più piccoli.

Una operazione simile è stata effettuata agendo direttamente sulla mesh, riducendo il numero delle facce al 50%, 13% e a valori minimi consentiti con la riduzione automatica effettuata dal programma. Si può notare anche qui la progressiva perdita delle informazioni avvertibile ad esempio nel dettaglio del fondo, Fig. 9.



Fig. 9 - Modello con progressiva riduzione delle facce della mesh

Come si può vedere, alla massima diminuzione di facce e nodi consentita dal programma (3000 nodi e 5894 facce) la perdita di informazioni diventa troppo elevata e non consente di valutare al meglio le caratteristiche geometriche dell'oggetto rilevato. In particolare, fino ad una riduzione del 13%, viene conservata in modo accettabile la macrogeometria dell'oggetto, mentre si vanno perdendo informazioni, fino a scomparire del tutto, sui piccoli particolari, quali ad esempio la sbecatura del vaso. Si ricorda comunque che il modello originale era composto da 87364 punti e 174248 facce, quindi l'ultimo modello contiene solo il 3.4% delle informazioni del modello completo. La Tabella 1 riassume le caratteristiche dei modelli precedentemente descritti.

Tabella 1. Caratteristiche dei modelli filtrati

Modello	Nodi	Facce
Completo	87364	174248
Modello 50%	43801	87122
Modello 13%	11124	21780
Modello 3.4%	3000	5894

E' possibile, inoltre, operare uno smoothing, sia agendo globalmente che localmente, settando le opportune opzioni disponibili, quali quella di preservare o meno, a seconda dell'oggetto, eventuali angoli acuti. E' inoltre possibile andare ad operare correzioni sulle facce, eliminando quelle irregolari. Si sottolinea però che tale operazione è una interpolazione software matematica e non un affinamento dei dati rilevati; se ne raccomanda pertanto un uso attento. Tali operazioni consentono,

infatti, di ripristinare la geometria globale, quando quest'ultima è regolare, ma sono inefficaci su quella locale; anzi, se non correttamente impiegate possono far perdere informazioni su particolari locali del modello. Un'altra strada è quella di considerare solo una parte dei punti rilevati in una scansione; il software di base consente infatti di memorizzare anche solo una parte dei punti acquisiti (fino ad un nono). Da analisi preliminari, se la geometria dell'oggetto da rilevare non è particolarmente complessa, un buon compromesso fra precisione e velocità di calcolo sembra essere il considerare un quarto dei punti rilevati.

Infine, per testare ulteriormente la procedura sviluppata e la macchina è stato effettuato il rilievo di un altro vaso, che presentava curvature più accentuate e dimensioni differenti.

La tecnica di rilievo è stata la stessa descritta precedentemente, ovvero ci si è avvalsi di sei scansioni effettuate con l'ausilio della tavola rotante, con un merging automatico, più una del fondo collegata con la tecnica dei markers di riferimento. Benché tale vaso presentasse curvature più accentuate e forme più difficoltose da rilevare, comunque il risultato finale è stato migliore rispetto al vaso di test case, e questo grazie alla caratteristica della superficie del vaso, di colore chiaro ed opaco, che ha consentito una migliore acquisizione.



Fig. 9 - Il secondo vaso acquisito

Nelle fig. 9 e 10 sono riportati le fotografie del vaso ed il modello ricostruito.

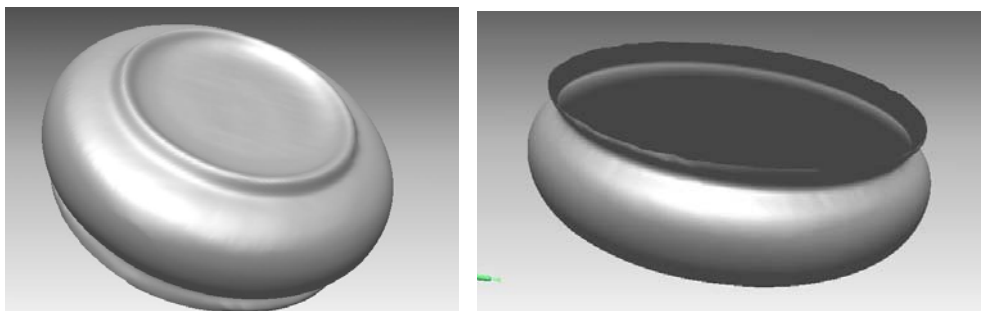


Fig. 10 - Modello ricostruito

Al fine di valutare le capacità di estrazione delle proprietà di volume del software e le eventuali possibilità di prototipazione rapida è stato creato uno spessore di 5 mm al modello precedente, fig. 11.

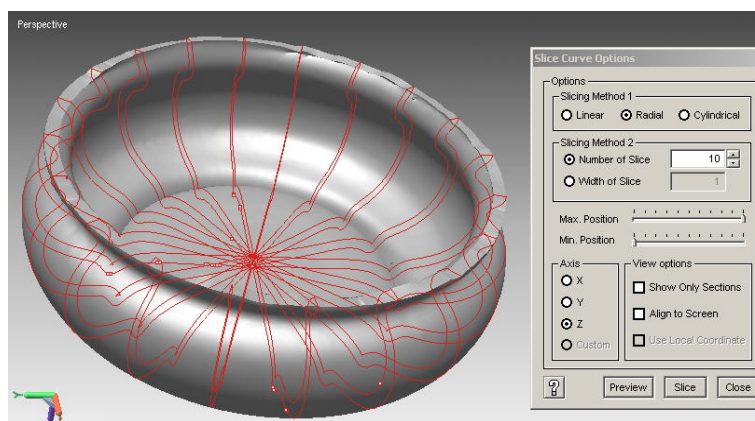


Fig. 11 - Sezioni radiali del modello solido del secondo vaso

Tale studio ha mostrato come nella creazione dello spessore vengano sostanzialmente rispettate le curvature principali; si può quindi pensare di applicare questa utilità ad i frammenti di vaso al fine di ridurre i tempi limitando l'acquisizione alla sola faccia principale del frammento, opzione questa che verrà meglio valutata nel prosieguo del progetto.

3. Confronto tra le forme ricostruite.

Riportiamo adesso un breve confronto tra i metodi di acquisizione delle forme relativamente al primo vaso indagato. Le fig. 12 e 13 mostrano lo stesso vaso acquisito con quattro tecniche diverse. Il primo vaso è quello relativo all'acquisizione diretta da scanner,

è quindi una superficie composta da una mesh triangolare molto fitta (si tratta del modello Completo di Tabella 1).

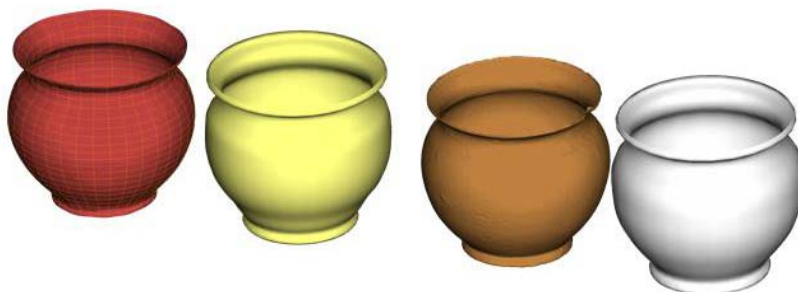


Fig. 12 - La ricostruzione del vaso secondo quattro tecniche

Il secondo esemplare è quello ricostruito a partire dalla misura di venti circonferenze sul vaso reale mediante calibro centesimale. Sfruttando le venti circonferenze è stata, quindi, eseguita una superficie di lofting per ottenere la forma completa del vaso. Il terzo vaso è una superficie ottenuta dall'acquisizione diretta da scanner per semplificazione. A partire dalla mesh completa, sono state estratte con il software RapidForm2004 venti curve di contorno equispaziate angularmente e poi è stata ricostruita la superficie mediante lofting tra le medesime curve.



Fig. 13 - Una vista frontale per confrontare le quattro ricostruzioni del vaso

L'ultimo esemplare, il quarto, è stato costruito mediante 20 punti della curva caratteristica per poi ottenere una superficie per rivoluzione della stessa. La procedura è analoga a quella utilizzata dagli archeologi sul sito di ritrovamento. In generale si può dire che la ricostruzione 3 preserva soddisfacentemente le caratteristiche geometriche della superficie ad eccezione delle irregolarità locali come imperfezioni o sbeccature. Le acquisizioni derivanti dalla misurazione con calibro sono in generali più lacunose dal momento che le interpolazioni di lofting

(vaso 2) o di spline (vaso 4) sono imprecise nelle zone ad elevata variazione di curvatura e i risultati sono fortemente dipendenti dalla localizzazione delle venti quote di misura. Per ottenere buoni risultati è necessario infittire la descrizione delle curve di livello o della curva caratteristica proprio in corrispondenza dei bordi superiori e inferiori, nelle regioni di flesso e in quelle a rapida variazione di curvatura. Nel confronto con le superfici dei modelli descritti, il rilievo del vaso di test case ha mostrato errori contenuti nel 4%. Inoltre, sono state utilizzate misurazioni mediante il calibro centesimale come verifica degli ingombri massimi. Una prima analisi, relativa anche ai vasi analizzati ha mostrato degli errori riassunti nella Tabella 2.

Tali valori risultano ampiamente sufficienti per le applicazioni e finalità del progetto. Inoltre sono stati ottenuti senza particolari accortezze, ma agendo solo con correzioni limitate sul modello acquisito.

Tabella 2. Errori delle rilevazioni

	H max mis.	Hmax mod.	Errore %
Vaso test case	112.7	112.85	0.13
2° Vaso	69.5	67.38	3,05
	D max mis.	D max mod.	Errore %
Vaso test case	131	129.4	1,22
2° Vaso	190	187.8	1,17

I valori massimi possono essere spiegati, nelle condizioni di acquisizione del vaso, con l'effetto di bordo descritto nei precedenti paragrafi, particolarmente sensibile sul bordo superiore del vaso. E' possibile migliorare il modello sia agendo in fase di acquisizione, contrastando meglio il bordo con sfondi e luci opportune, sia in sede di trattamento dello stesso all'interno del RapidForm2004. E' infatti possibile utilizzare la funzione descritta nelle sezioni precedenti che consente di costringere determinati punti a giacere su una curva o superficie. Il software è in grado di individuare automaticamente i bordi del modello rilevato; poiché la parte superiore del vaso è una circonferenza, è sufficiente disegnare una circonferenza posta ad altezza

opportuna e di diametro opportuno, e costringere i punti del bordo a giacere su tale circonferenza. Infine, per una prima valutazione della capacità dell'attrezzatura di cogliere anche le geometrie locali in modo automatico è stata effettuata una acquisizione del fondo di un comune vaso da terra che presentava differenti particolari.



Fig. 14 - Modello digitale del fondo di un vaso

Le fig. 14 e 15 riportano la foto del fondo ed il modello ottenuto. Si può notare come il modello sia in grado di riprodurre fedelmente dettagli molto difficili, quali il doppio scalino del foro, la forma dei numeri stampati ed i rilievi. Si sottolinea che il modello rappresentato in fig. 14 è il risultato dell'acquisizione diretta, senza filtrazioni od operazioni di smoothing successive, a conferma della bontà della scelta di tale apparecchiatura. Valutazioni più approfondite sulla precisione dei modelli costruiti saranno effettuate nella seconda parte del progetto.



Fig. 15 - Foto del fondo del vaso

4. Analisi di un frammento.

Tarata l'attrezzatura sono stati rilevati dei frammenti al fine di evidenziare le capacità dello scanner in relazione ad oggetti con dimensioni e forme simili a quelle riscontrabili nei reperti del sito archeologico cui è riferito il progetto PRIN. Nella fig. 16 è visibile il modello del frammento scannerrizzato, con e senza bitmap. Sono state effettuate le analisi classiche precedentemente descritte (fig. 17), al fine di rilevare i parametri geometrici e costruire le curve caratteristiche del modello. Di notevole interesse appare la possibilità di costruire la circonferenza passante per 3 punti selezionati sul modello (fig. 18):

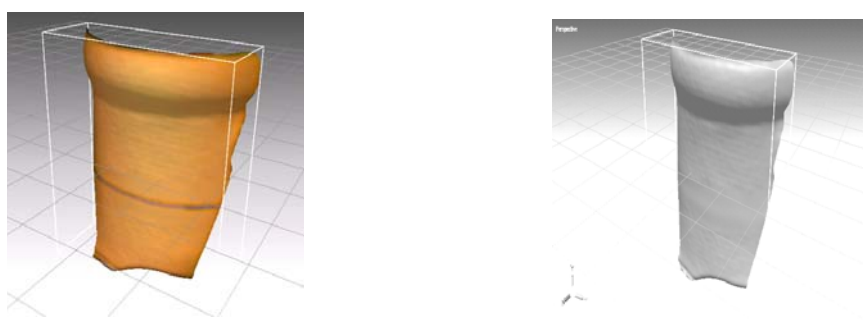


Fig. 16 - Frammento acquisito con bitmap (a sinistra) e senza bitmap (a destra)

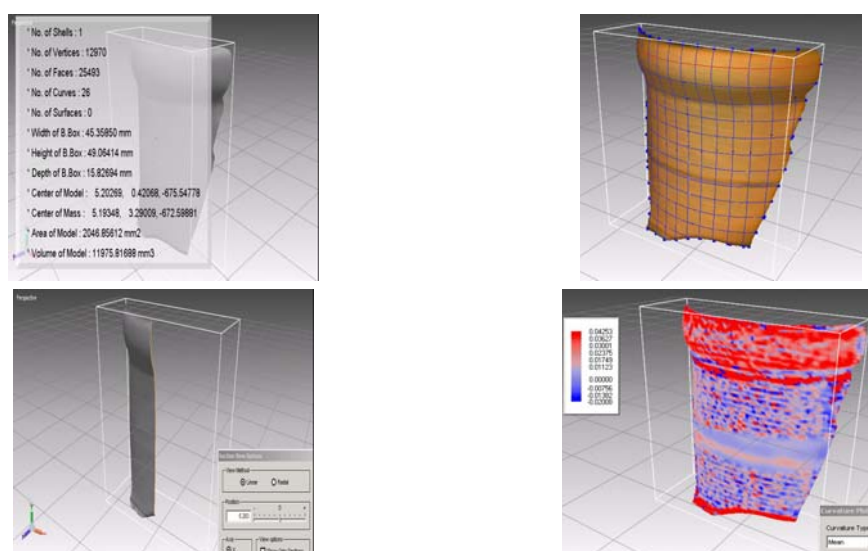


Fig. 17 - Esempi di analisi sulla geometria del frammento acquisito.

con tale opzione, dopo aver determinato l'asse di simmetria del frammento, risulterà possibile valutare puntualmente le curvature per orientare correttamente il pezzo nello spazio, § 5.6.

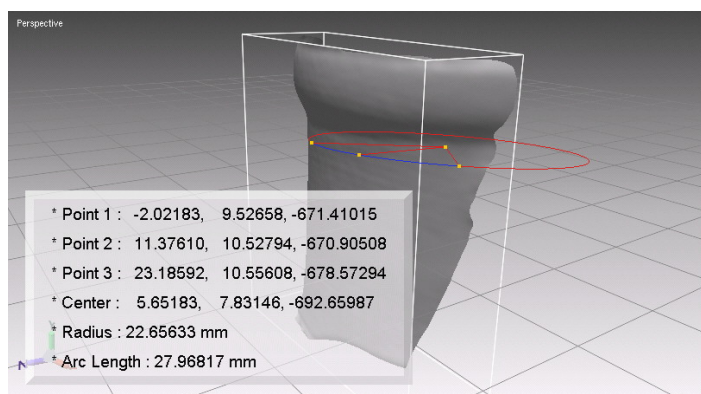


Fig. 18 - Costruzione della circonferenza di rivoluzione a partire da tre punti di un frammento.

Infine è stato creato un volume di offset (fig. 19) che in caso di forme con geometrie aperte consente di limitare ad il numero delle scansioni ad una, ed ottenere direttamente il modello solido assegnando lo spessore. Tale funzione si è mostrata affidabile anche in caso di curvature del frammento molto accentuate.

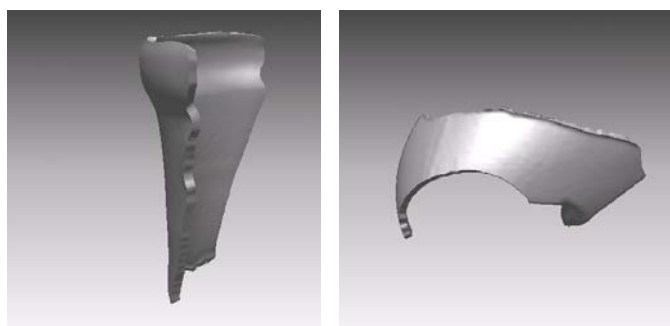


Fig. 19 - Creazione di un volume di offset sul frammento acquisito.

5. Lo sviluppo di tools applicativi.

Il fine della ricerca è quella di sviluppare una metodologia non solo affidabile e veloce, ma anche di facile utilizzo anche da parte di persone con competenze diverse. I fruitori finali di tale studio saranno infatti studiosi di archeologia non necessariamente esperti nel campo della reverse engineering. A tal proposito sono stati sviluppati dei tools applicativi che consentono di automatizzare le varie operazioni mediante un'interfaccia semplificata ed intuitiva. Allo scopo di rendere automatiche le operazioni di trattamento della scansione e di successiva catalogazione e ricostruzione virtuale del reperto, è stato sviluppato un tool per il RapidForm,. Nei paragrafi successivi vengono presentate le caratteristiche

fondamentali del software PANDORA e ARCHEOANGEL, sviluppato da alcuni degli autori. Dapprima viene descritta la procedura automatica di trattamento delle scansioni, successivamente, quella di determinazione dell'asse di rivoluzione del vasellame a partire dal frammento scansionato, secondo due differenti metodologie. Le procedure implementate sono state ottimizzate per il caso in esame per questo progetto PRIN, cioè per il trattamento di scansioni di frammenti di vasellame.

5.1. Caratteristiche del Tool.

La tecnologia OLE ha permesso lo sviluppo di uno script che guida l'utente nelle operazioni di trattamento delle scansioni, descritte in precedenza, e nella successiva determinazione dell'asse di rivoluzione del vaso a partire dalla scansione del singolo frammento. La struttura del software, fig. 20, è costituita da due processi separati, uno che consente di avviare la procedura di pulizia e ottimizzazione della scansione, articolata in un sistema passo – passo di facile utilizzo, e l'altro che permette l'avvio dell'algoritmo di determinazione dell'asse di rivoluzione della scansione in oggetto. Dopo l'avvio del software e l'apertura del programma RapidForm2004™, che avviene automaticamente, l'utente si trova di fronte la finestra mostrata in figura.



Fig. 20 - Finestra grafica del software Pandora

L'accesso alla procedura di ottimizzazione e correzione delle scansioni è consentito dalla pressione del tasto “Apri un nuovo file”, così come suggerisce la scritta sopra di esso. A questo punto è necessario aprire un nuovo file su cui lavorare, e per far ciò viene visualizzata la seguente:

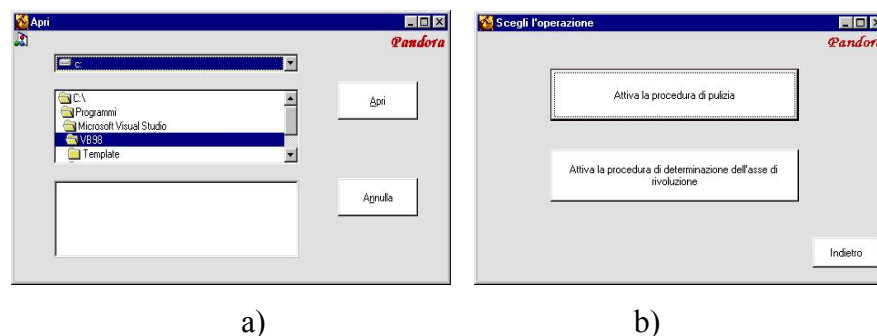


Fig. 21 - Finestre grafiche: a) per la scelta del file,
b) per l'attivazione delle procedure

L'apertura del file scelto avviene tramite il form di fig. 21a. Nella finestra, fig. 21b, sono inoltre presenti i pulsanti: "Attiva la procedura di determinazione dell'asse di rivoluzione" e "Attiva la procedura di determinazione dell'asse di rivoluzione". L'avvio della prima procedura consente all'utente di iniziare un percorso, articolato in quattro finestre, le quali contengono tutte le operazioni descritte nel paragrafo precedente, rispettando, ovviamente, l'ordine prima definito. Il primo step da eseguire sulla shell è la pulizia a livello microscopico per eliminare i difetti superficiali che si traducono in disturbi nel successivo calcolo dell'asse di rivoluzione, influenzando il procedimento di ricerca dello stesso.

5.2. La procedura guidata di pulizia.

Tramite il form nella figura precedente è possibile attivare tale procedura. Infatti, ogni singolo tasto comanda la corrispondente procedura all'interno del RapidForm. Nelle figure successive è riportato il form per la pulizia della scansione. Tramite questo form è possibile individuare i difetti e scegliere il modo ottimale per rimuoverli senza doverlo fare in modo manuale mediante l'utilizzo dei comandi del Rapid Form.

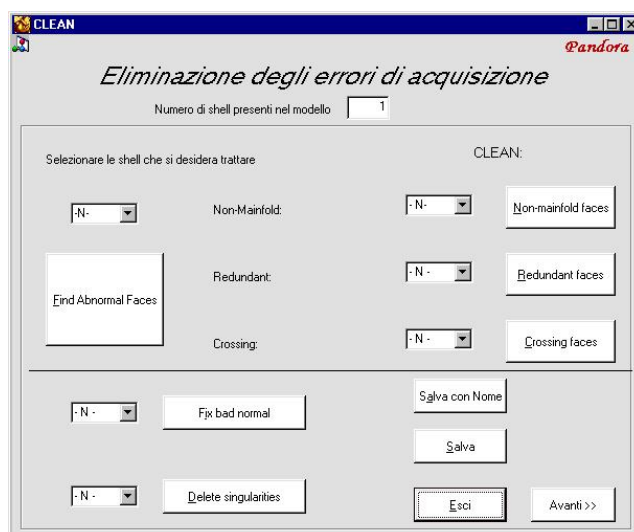


Fig. 22 - Form della procedura di pulizia

Qui sono presenti tutti i comandi utili all'eliminazione di quegli errori dovuti al processo di acquisizione con lo scanner, tipo facce anormali o intersecatesi erroneamente, normali alle facce con orientazione diversa da quella desiderata o punti singolari. Nella realizzazione di questo form, fig. 22, è stata scelta una sequenza delle operazioni che prevede l'individuazione del numero delle facce che presentano delle irregolarità, e di seguito tutti i comandi adatti a risolverle. Si osservi come, per ogni comando, è possibile impostare, attraverso la corrispondente casella, il numero di shell su cui realizzare l'operazione. È da far rilevare anche che non è necessario seguire la sequenza proposta, così come non è indispensabile eseguire tutti i comandi sulla shell oggetto di studio. La finestra successiva permette all'utente l'individuazione di eventuali fori presenti sulla shell del frammento acquisito.

Qui sono presenti tutti i comandi utili all'eliminazione di quegli errori dovuti al processo di acquisizione con lo scanner, tipo facce anormali o intersecatesi erroneamente, normali alle facce con orientazione diversa da quella desiderata o punti singolari. Nella realizzazione di questo form, fig. 22, è stata scelta una sequenza delle operazioni che prevede l'individuazione del numero delle facce che presentano delle irregolarità, e di seguito tutti i comandi adatti a risolverle. Si osservi come, per ogni comando, è possibile impostare, attraverso la corrispondente casella, il numero di shell su cui realizzare l'operazione. È da far rilevare anche che non è necessario seguire la sequenza proposta, così come non è indispensabile eseguire

tutti i comandi sulla shell oggetto di studio. La finestra successiva permette all'utente l'individuazione di eventuali fori presenti sulla shell del frammento acquisito.

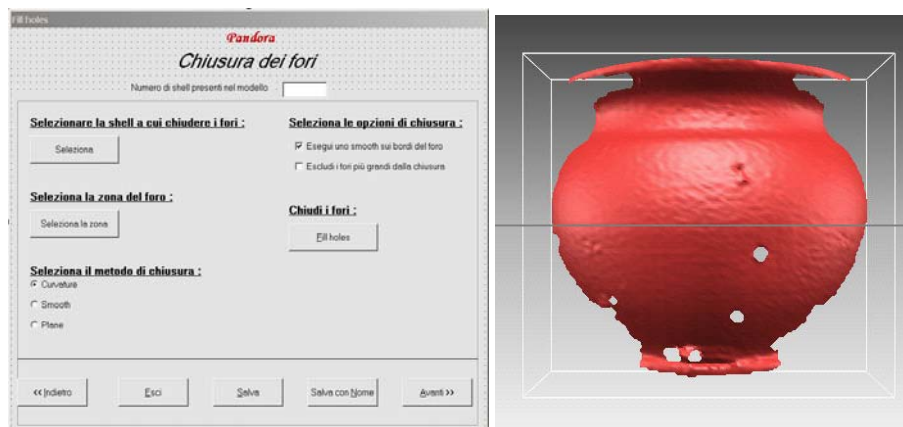


Fig. 23 - Form per la chiusura dei fori

Il presente form, fig. 23, guida l'utente nella procedura di chiusura dei fori, consentendogli di scegliere tra le varie opzioni possibili per il metodo di chiusura. Tale operazione può essere realizzata su una shell per volta, selezionandola con l'apposito pulsante "Seleziona", che visualizza la finestra di Rapidform 2004™, e permette all'utente di scegliere direttamente la shell su cui operare. Nella sezione successiva, l'utente è guidato nell'impostazione ed esecuzione dell'operazione di *smooth locale* della shell, fig. 24a, secondo il seguente percorso logico:

- Scelta della shell
- Selezione della zona da spianare
- Impostazione delle opzioni per l'operazione
- Avvio del comando



a) smooth locale b) smooth globale

Fig. 24 - Form per lo smooth della shell

Nella fig. 24b viene presentato il form per l'azione globale di *smooth*, in questo caso lo si intende esteso a tutta la shell, e non solo a particolari zone selezionate. A questo punto è necessario sapere se alcune zone della shell devono essere escluse dalla spianatura. Qualora ci siano, si fa riferimento alla colonna di sinistra, dove è possibile selezionare le suddette zone per escluderle. La colonna di destra, invece, esegue lo Smooth senza alcuna esclusione. Per quanto riguarda l'impostazione delle opzioni per lo Smooth, si deve far riferimento alla colonna centrale. Tali impostazioni sono valide sia per lo Smooth senza alcuna zona esclusa, sia per quello a zone escluse.

5.3. Metodi per la determinazione dell'asse di rivoluzione.

Una volta operate le successive fasi di pulizia della geometria della mesh, si può procedere nel calcolo per la ricerca e la determinazione dell'asse di rivoluzione del frammento. Il software PANDORA contiene una subroutine per il conseguimento di tale obiettivo. Sfruttando le proprietà delle superfici di rivoluzione, infatti, si è riusciti ad implementare una procedura che avendo come dati di input il set di punti e di normali della superficie del frammento, riesce ad individuare l'asse di simmetria del vaso mediante la minimizzazione di opportune funzioni. Per definire una superficie di rivoluzione è necessario prima definire un asse di rotazione nello spazio, e un piano su cui giace l'asse stesso. Sempre su tale piano si consideri, infine, una curva. La rotazione del piano intorno all'asse fa descrivere alla curva, se considerata solidale al piano stesso, la superficie prime definita, fig. 25.

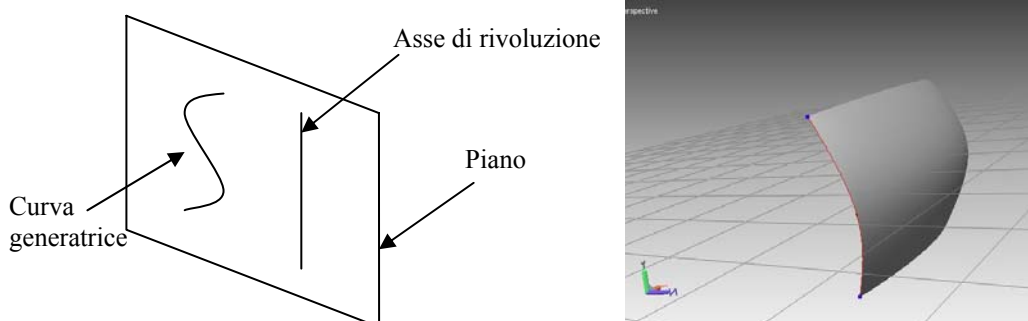


Fig. 25 -Generazione di una superficie di rivoluzione

Dalla fig. 25 è anche possibile evincere che la formazione di una tale superficie non prevede una rotazione di 360° intorno all'asse di rivoluzione, ma è sufficiente un qualsiasi angolo. La sua equazione nello spazio, in forma implicita, esplicita o parametrica. Un'equazione in forma implicita assume la forma:

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

mentre una in forma esplicita è del tipo:

$$y = g(x, y) \quad (2)$$

ed infine, quella parametrica è:

$$X = X(u, v) = \begin{bmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{bmatrix} \text{ con } U = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \in [a, b] \quad (3)$$

Per una superficie definita tramite un'equazione parametrica, la normale $\mathbf{n}$ si può determinare con la seguente:

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{x}_u \wedge \mathbf{x}_v}{\|\mathbf{x}_u \wedge \mathbf{x}_v\|} \quad (4)$$

dove $\mathbf{x}_u$ e $\mathbf{x}_v$ rappresentano, rispettivamente, le derivate parziali della variabile rispetto ai parametri u e v :

$$\mathbf{x}_u = \frac{d\mathbf{x}}{du} \quad \mathbf{x}_v = \frac{d\mathbf{x}}{dv} \quad (5)$$

Le sue curvature in ogni punto:

$$\kappa(x, t) = \kappa(\lambda) = \frac{nx_{uu} + 2nx_{uv}\lambda + nx_{vv}\lambda^2}{x_u x_u + 2x_u x_v \lambda + x_v x_v \lambda^2} \quad (6)$$

dove il doppio pedice indica la derivata seconda della variabile rispetto ai parametri, e λ è definita come:

$$\lambda = \frac{dv}{du} \quad x_{uv} = \frac{d^2 x}{dudv} \quad (7)$$

In fig. 26, si individuano le grandezza caratteristiche di una superficie di rivoluzione. Si denota con $\mathbf{l}$ l'asse di rivoluzione, tratteggiato nelle figure, e si individuano i due piani caratteristici:

- Il piano **parallelo**, passante per i punti P, Q e C.
- Il piano **meridiano**, che contiene l'asse **I** di simmetria, e passa per i punti P e R. In generale qualsiasi piano che contiene **I** è un piano meridiano.

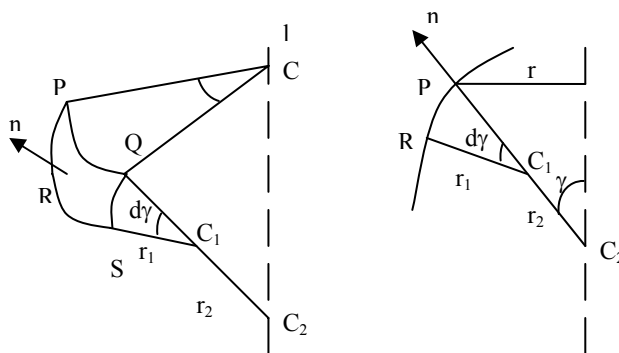


Fig. 26 - Grandezze di riferimento nelle superfici di rivoluzione

Ricordando le definizioni di curvature principali e rispettivi raggi di curvatura, definiti come l'inverso delle curvature, sono individuabili molto facilmente nelle figure sopra mostrate. Infatti, per le superfici di rivoluzione, i raggi di curvatura sono quelli indicati da r_1 e r_2 nelle figure, e i rispettivi centri sono C_1 e C_2 . La particolarità sta nel fatto che delle due direzioni principali di curvatura, una giace sempre nel piano meridiano, e l'altra, dovendo essere ortogonale alla prima, è facilmente determinabile. Ma le informazioni che queste grandezze sono in grado di fornire non si limitano a questo; come è possibile vedere dalla fig. 26 raggio di curvatura r_2 ha il suo centro C_2 sull'asse di rivoluzione della superficie. Questa è una proprietà sempre vera per tutte le superfici di rivoluzione, e si tratta di un'informazione molto utile che, come sarà illustrato più avanti, sarà utilizzata per la stima e determinazione dei parametri geometrici della shell. Altra informazione fondamentale, sempre legata al raggio di curvatura r_2 , è che la sua direzione, punto per punto, coincide con la direzione della normale alla superficie nel punto stesso. Anche questa è un'informazione che sarà utilizzata in seguito. In ultimo, ma non per questo meno rilevante, è da far notare come nella fig. 26 sia indicato un raggio r ; se si ipotizza di sezionare la superficie con un piano ortogonale all'asse di rivoluzione, si ottiene una curva che è una circonferenza, per qualsiasi altezza si scelga lungo l'asse **I**. Tale circonferenza ha raggio r . Dopo questa rapida illustrazione delle proprietà di questo tipo di superfici, appare chiaro quante siano le informazioni sfruttabili per elaborare

acquisizioni di reperti appartenuti a solidi di rivoluzione. Questa sezione prosegue, ora, con la descrizione dettagliata dei metodi matematici messi a punto per la determinazione dell'asse di rivoluzione. Si tratta di metodi che sfruttano le proprietà sopra descritte delle superfici, e che cercano di tenere conto anche degli errori sopra detti. Ciò che accomuna queste tecniche è il dato di partenza: un set di punti nello spazio di cui sono note le coordinate.

5.3.1. Il metodo delle curvature [7].

Supponiamo di orientare la superficie in modo tale da far coincidere l'asse di rivoluzione con l'asse Z del sistema di riferimento globale. In questa situazione l'equazione parametrica della superficie diventa:

$$X(u, v) = (\varphi(v) \cos u, \varphi(v) \sin u, \psi(v)) \quad (8)$$

mentre la normale in ogni punto è data da:

$$n(u, v) = \text{sign}(\varphi) \frac{(\psi' \cos u, \psi' \sin u, \varphi')}{\sqrt{\varphi'^2 + \psi'^2}} \quad (9)$$

ed, infine, le curvature principali sono descritte dalle equazioni:

$$\kappa_\mu = \frac{\text{sign}(\varphi)(\varphi''\psi' - \varphi'\psi'')}{(\varphi'^2 + \psi'^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (10)$$

$$\kappa_\pi = \frac{-\psi'}{|\varphi| \sqrt{\varphi'^2 + \psi'^2}} \quad (11)$$

La curvatura κ_μ corrisponde a quella del parallelo, mentre κ_π è la curvatura lungo il meridiano. Se si considera la sfera di curvatura corrispondente alla curvatura κ_π , si può osservare che il suo centro giace sull'asse di rivoluzione, e questo è vero per tutti i punti della superficie. Questa informazione viene sfruttata per la ricerca dell'asse di rivoluzione. I dati a disposizione sono il set di m punti, $\mathbf{p}_i$, della geometria acquisita e le relative normali, $\mathbf{n}_i$. L'asse di rivoluzione L è caratterizzato da un punto fisso $\mathbf{p}_0$, appartenente a L , e una direzione $\mathbf{v}$ espressa da un versore. Il fulcro dell'algoritmo sta nel calcolo della curvatura κ_π a partire dai dati a disposizione.

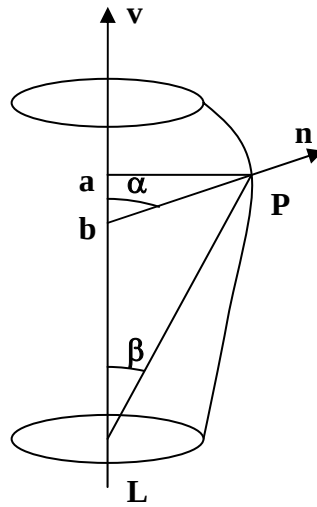


Fig. 27 - Nomenclatura dei parametri geometrici dell'algoritmo

Il raggio di curvatura che corrisponde a κ_π è individuato dal vettore $\|\overline{bp}\|$, e in base a questo si può calcolare:

$$\|\overline{ap}\| = \|\overline{p_0 p}\| \sin \beta = \|(p - p_0) \times v\| \quad (11)$$

notando che vale anche la relazione:

$$\sin \alpha = \|n \times v\| \quad (12)$$

Note queste relazioni, il raggio $\|\overline{bp}\|$ può essere calcolato come:

$$\|\overline{bp}\| = \frac{\|\overline{ap}\|}{\sin \alpha} = \frac{\|(p - p_0) \times v\|}{\|n \times v\|} \quad (13)$$

per cui la curvatura κ_π è data da:

$$\kappa_\pi = \frac{1}{\|\overline{bp}\|} \quad (14)$$

A questo punto è necessario riconsiderare la sfera di curvatura di raggio $\|\overline{bp}\|$, il cui centro è individuato, nel punto $\mathbf{p}_i$, da:

$$c_i = p_i - \frac{1}{\kappa_{\pi,i}} n_i \quad (15)$$

Nel caso di una superficie ideale, tutti i centri c_i devono appartenere all'asse di rivoluzione $\mathbf{L}$. Non essendo questo un caso ideale, i centri c_i non cadranno esattamente sull'asse di rivoluzione, ma in un suo intorno più o meno ampio, dipendente anche dalla qualità della scansione. Quindi è necessario cercare quella retta che meglio approssima la distribuzione dei centri di tutte le sfere di curvatura. Per far questo abbiamo bisogno di una funzione che descriva la differenza tra l'asse teorico e quello numerico. Una volta individuati i parametri da cui tale funzione dipende, si vanno a cercare i valori che devono assumere gli stessi, affinché la funzione sia minima. Si tratta quindi di un problema di minimizzazione, in generale non lineare, di una funzione di vari parametri. Il primo problema da affrontare è la scelta della funzione. Tenendo presenti le definizioni sopra date, si può facilmente osservare che il prodotto vettoriale $(c_i - p_0) \times \mathbf{v}$, nel caso ideale, è nullo. Questo è vero perché il vettore $(c_i - p_0)$ è parallelo al vettore $\mathbf{v}$. Sulla base di questa osservazione, si può costruire la funzione:

$$f(p_0, \mathbf{v}) = \sum_{i=1}^m \|(c_i - p_0) \times \mathbf{v}\|^2 \quad (16)$$

che, note le formule precedenti, può essere scritta come:

$$f(p_0, \mathbf{v}) = \sum_{i=1}^m \left\| (p_i - p_0) \times \mathbf{v} - \frac{\|(p_i - p_0) \times \mathbf{v}\|}{\|n_i \times \mathbf{v}\|} (n_i \times \mathbf{v}) \right\|^2 \quad (17)$$

La funzione risulta espressa in 6 parametri: le 3 coordinate del punto $\mathbf{p}_0$ e le 3 componenti del versore $\mathbf{v}$. La minimizzazione di questa funzione restituisce i valori di $\mathbf{p}_0$ e $\mathbf{v}$ che meglio approssimano l'asse di rivoluzione. La procedura di minimizzazione della funzione f , vista la sua complessità, necessita di un algoritmo adatto per la risoluzione di questa tipologia di problemi. I 6 parametri da cui la funzione dipende non sono indipendenti tra loro. Infatti, per i vincoli geometrici che esistono tra di loro, si riesce a ridurre il numero dei parametri indipendenti a 4.

I due vincoli sono la lunghezza unitaria del vettore $\mathbf{v}$:

$$\|\mathbf{v}\| = 1 \quad (18)$$

e l'appartenenza del punto $\mathbf{p}_0$ all'asse di rivoluzione $\mathbf{L}$, tramite la relazione:

$$p_0 \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (19)$$

A questo punto, per facilitare la formulazione finale del problema, è conveniente introdurre un opportuno cambio di coordinate che consenta di riscrivere la funzione obiettivo in dipendenza del numero minimo di parametri per impostare il problema sulla ricerca di un minimo non vincolato, procedura meno dispendiosa a livello di calcolo. Sempre con riferimento alla fig. 27, si considerino gli angoli α e β , e la matrice:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \sin \alpha \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

In funzione di questi angoli il versore v si può esprimere come:

$$v = [-\cos \alpha \sin \beta \quad -\sin \alpha \sin \beta \quad \cos \beta]^T \quad (21)$$

Si definisce, ora, un vettore bidimensionale w di componenti $w = (x_0, y_0)^T$ definito come prodotto matrice-vettore tra R e p_0 :

$$w = R \cdot p_0 \quad (22)$$

Con alcune altre osservazioni si giunge, in pochi passaggi, alla formulazione

definitiva; si osservi che, poiché la composizione $\begin{pmatrix} R \\ v^T \end{pmatrix}$ rappresenta la matrice di rotazione che rende l'asse Z del sistema di riferimento parallelo all'asse di rivoluzione, è valida la relazione:

$$\|R \cdot x\| = \|x \times v\| \quad (23)$$

nota questa ultima, si può scrivere:

$$\|(p_i - p_0) \times v\| = \|R \cdot (p_i - p_0)\| = \|R \cdot p_i - w\| \quad (24)$$

e

$$\|n_i \times v\| = \|R \cdot n_i\| \quad (25)$$

se si considera anche che i vettori $(p_i - p_0) \times v$ e $n_i \times v$ devono essere paralleli, mettendo insieme tutte le osservazioni precedenti, la funzione obiettivo si trasforma in:

$$f(\alpha, \beta, x_0, y_0) = \sum_{i=1}^m r_i^2 \quad (26)$$

dove r_i è definito come:

$$r_i = \left\| (R \cdot p_i - w) - \frac{\|(R \cdot p_i - w)\|}{\|R \cdot n_i\|} (R \cdot n_i) \right\| \quad (27)$$

Si tratta della stessa funzione descritta precedentemente, ma con il numero delle variabili indipendenti ridotto al minimo indispensabile, e costruita con i soli dati relativi ai punti e alle rispettive normali. A questo punto si tratta di trovare il valore dei parametri che rendono minima la funzione f , cioè:

$$\min_{(\alpha, \beta, x_0, y_0)} \sum_i r_i^2 \quad (28)$$

La minimizzazione di questa funzione deve, però, tener conto anche del tipo di dati iniziali. Infatti, provenendo questi da una scansione di un oggetto, sono affetti da disturbi che vanno ad influenzare radicalmente la ricerca dell'asse di rivoluzione. Proprio per questo motivo si è anteposta la trattazione sulla pulizia delle scansioni, che oltre ad avere come effetto di una migliore corrispondenza tra oggetto reale e geometria acquisita, ha anche l'effetto di diminuire gli inevitabili disturbi dovuti all'acquisizione. Anche dopo la loro eliminazione la geometria acquisita può risultare affetta da irregolarità, dovute alla triangolarizzazione stessa della nuvola di punti. E' necessaria, quindi, una valutazione dei dati di input. Alcuni di questi, infatti, possono trovarsi "lontani" dai valori medi della distribuzione. Per questo motivo va valutato il peso degli *outliers* nella distribuzione globale. L'idea è di creare un algoritmo iterativo che a ogni passo vada a cercare la soluzione, non più avvalendosi di una semplice formulazione ai minimi quadrati, bensì ricorrendo a una formulazione ai minimi quadrati *pesati*. In forma matematica questo significa sostituire la formulazione precedente $\min_{(\alpha, \beta, x_0, y_0)} \sum_i r_i^2$ con:

$$\min_{(\alpha, \beta, X, Y, 0)} \sum_i \omega_i r_i^2 \quad (29)$$

dove gli ω_i rappresentano i pesi delle singole funzioni r_i , tanti quanti sono i punti. Ora non resta che determinare i valori che devono assumere tali pesi, e il criterio che consente di valutare l'attendibilità delle informazioni necessarie per l'individuazione dell'asse di ogni singolo punto.

La funzione ω_i adottata per questo metodo:

$$\omega_i = \begin{cases} 1 \cdot se \cdot |z_i| \leq 3 \\ 0 \cdot altrimenti \end{cases} \quad (30)$$

La trattazione esplicita della valutazione degli outliers e il significato dei singoli parametri sono esposti nel paragrafo § 5.4.3.

L'algoritmo è di tipo iterativo concepito secondo il seguente schema logico:

1. Stimare l'asse di rivoluzione $L^{(0)}$ da passare alle procedure di risoluzione come valore di primo tentativo.
2. Impostare tutti gli $\omega_i = 1$.
3. Minimizzare la funzione e valutare il nuovo asse di rivoluzione $L^{(1)}$.
4. Calcolare la differenza tra l'asse $L^{(0)}$ e $L^{(1)}$. Se la differenza è minore di un certo errore scelto ci si ferma, altrimenti l'asse $L^{(1)}$ diventa il nuovo valore di primo tentativo.
5. Calcolare i valori di ω_i in funzione del risultato del passo precedente.
6. Minimizzare di nuovo la funzione e valutare $L^{(k+1)}$.
7. Calcolare la differenza tra $L^{(k+1)}$ e $L^{(k)}$. Se la differenza è minore dell'errore si è giunti a conclusione, altrimenti si ritorna al passo 5.

5.3.2. Il metodo delle normali [8].

Per una superficie di rivoluzione, la normale alla superficie in un punto coincide con uno dei raggi di curvatura principale e quindi passa per l'asse di rivoluzione, fig. 28. Questa caratteristica è quella che qui viene sfruttata in questo metodo di ricerca e determinazione dell'asse di rivoluzione.

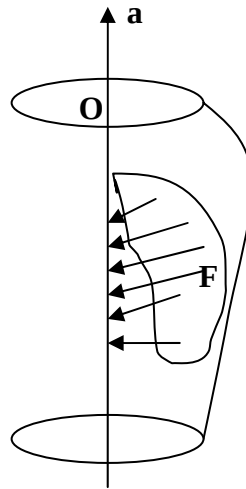


Fig. 28. Andamento delle normali su una superficie di rivoluzione.

L'approccio matematico di questo metodo è molto simile a quello precedente, si cerca, cioè, una funzione obiettivo da minimizzare dipendente da un certo numero di parametri e la cui minimizzazione fornisce i valori di questi parametri che permettono l'individuazione dell'asse di rivoluzione. Anche in questo caso la funzione obiettivo è rappresentata da una distanza, che nel caso di una superficie ideale è nulla. Si va quindi a calcolare il valore dei parametri che rendono minima la somma dei quadrati di queste distanze valutate nei casi reali, dove, ovviamente, non risulteranno nulle. Per descrivere la costruzione di tale distanza è necessario premettere alcune definizioni e osservazioni. Definiamo l'asse di rivoluzione a tramite la seguente espressione matematica:

$$a = X_0 + t_0 \cdot N_0 \quad (31)$$

dove X_0 è un punto fisso e N_0 è la normale, fig. 29. Analogamente si definisce, in ogni punto della shell, la normale n_i come:

$$n_i = X_i + t_i \cdot N_i \quad (32)$$

dove, ovviamente, X_i è il punto considerato e N_i è la direzione della normale.

Detto questo, è possibile definire la funzione obiettivo:

$$f(X_0, N_0) = \sum_{i=1}^M d^2(n_i, a) \quad (33)$$

dove M è il numero dei punti della shell, e $d(n_i, a)$ è la distanza suddetta ed è definita come segue:

$$d(n_i, a) = \frac{(X_i - X_0) \cdot (N_i \times N_0)}{\|N_i \times N_0\|} \quad (34)$$

quindi l'asse di simmetria sarà individuato dai parametri che risolvono il problema:

$$\min_a \sum_{i=1}^M d^2(n_i, a) \quad (35)$$

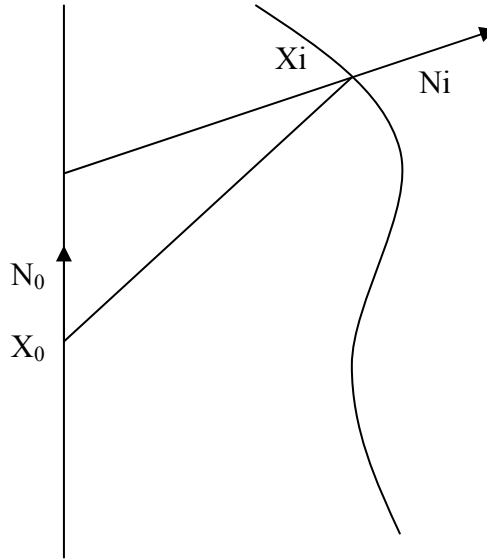


Fig. 29 - Rappresentazione dei parametri del problema

Il numeratore della formula della distanza, esprime la proiezione ortogonale del vettore $(X_i - X_0)$ sul vettore che si ottiene dal prodotto vettoriale tra i due versori delle normali N_i e N_0 . Essendo questo ultimo ortogonale sia a N_i sia a N_0 e, nel caso ideale, essendo il vettore $(X_i - X_0)$ complanare a N_i , è evidente che la proiezione ortogonale è nulla, fig. 30. Ciò non è più vero nei casi reali, dove tale proiezione non è affatto zero. A questo punto è chiaro il significato della funzione obiettivo, che è quello di determinare quell'asse di rivoluzione che rende minima tale distanza. Il denominatore dell'espressione $d(n_i, a)$ è la lunghezza del vettore risultato del prodotto vettoriale al numeratore. L'algoritmo implementato, che è sempre iterativo, molto simile a quello del metodo delle curvature, ma con alcune differenze. Anche in questo caso è utile introdurre un processo di peso dei punti, per gli stessi motivi indicati nel metodo precedente. Così facendo il problema iniziale si trasforma, e la funzione diventa:

$$\min \sum_i \omega_i \cdot r_i^2 \quad (36)$$

dove ω_i sono le funzioni peso, e gli r_i sono proprio le distanze $d(n_i, a)$ che fungono da residui. Per la trattazione dei pesi ω_i vedere il paragrafo § 5.4.3.

In questo metodo si è scelto di utilizzare la funzione peso descritta dalla seguente espressione:

$$\omega_i = \begin{cases} 1 \cdot se \cdot |r_i| \leq c\hat{\sigma} \\ \frac{c\hat{\sigma}}{|r_i|} \cdot altrimenti \end{cases} \quad (37)$$

L'algoritmo si sviluppa seguendo gli stessi passi del metodo precedente:

1. Stimare l'asse di rivoluzione $L^{(0)}$ da passare alle procedure di risoluzione come valore di primo tentativo.
2. Impostare tutti gli $\omega_i = 1$.
3. Minimizzare la funzione e valutare il nuovo asse di rivoluzione $L^{(1)}$.
4. Calcolare la differenza tra l'asse $L^{(0)}$ e $L^{(1)}$. Se la differenza è minore di un certo errore scelto ci si ferma, altrimenti l'asse $L^{(1)}$ diventa il nuovo valore di primo tentativo.
5. Calcolare i valori di ω_i in funzione del risultato del passo precedente.
6. Minimizzare di nuovo la funzione e valutare $L^{(k+1)}$.
7. Calcolare la differenza tra $L^{(k+1)}$ e $L^{(k)}$. Se la differenza è minore dell'errore si è giunti a conclusione, altrimenti si ritorna al passo 5.

5.3.3. Definizione delle funzioni peso ω_i .

Le funzioni peso ω_i consentono di discriminare i punti estranei alla distribuzione, il cui contributo al calcolo dell'asse di rivoluzione può generare degli errori nella ricerca dell'asse di rivoluzione. La linea seguita è quella di considerazioni generali sul problema dei punti inconsistenti, anche detti *outliers*, i limiti dei metodi classici di stima, quale quello classico del 3σ , e l'approccio alle soluzioni usate nel presente lavoro. Questa ultima parte verrà trattata separatamente per i due metodi di ricerca dell'asse proposti, poiché le definizioni usate sono diverse. Si può iniziare dando una definizione di *outliers* [9]: si tratta di valori in qualche modo inconsistenti o estranei all'interno di un insieme più grande di dati. L'esempio più facile è far riferimento all'insieme dei punti estratti da una shell, alcuni dei quali, per le ragioni già esposte

precedentemente, non fanno parte della shell stessa, sono molto lontani da essa o per qualsiasi altro motivo non sono congruenti con tutti gli altri. Il problema fondamentale risiede nel fatto che la loro influenza sulle valutazioni delle varie grandezze, può essere notevole, ma soprattutto dipende in modo essenziale dall'algoritmo di calcolo usato. Per questo è necessario identificare questo sottoinsieme di dati ed escluderlo, o pesarlo opportunamente, durante i calcoli. L'identificazione di tali punti è molto importante. È necessario individuare un criterio che sia in grado "scovarli" tutti all'interno del set iniziale di dati, ma non "troppi", nel senso che non devono essere scambiati valori giusti per sbagliati. Generalmente si fa ricorso a criteri statistici per rilevare la presenza di *outliers*, sfruttando il fatto che gli errori hanno una loro distribuzione più o meno regolare. Un primo approccio è quello classico del 3σ ; si tratta di un metodo che si basa sull'ipotesi che gli errori siano distribuiti in modo normale, per cui considerando l'intervallo di $\pm 3\sigma$, al di fuori di esso rimangono solo gli outliers. La procedura standard è del tipo:

dato il set iniziale si calcola la media μ

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (38)$$

si stima la deviazione standard s

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (39)$$

si calcola la deviazione di *student*

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (40)$$

infine, si dichiara un punto "sospetto" se $|z_i| > 3$. Questo metodo, però, presenta una serie di inconvenienti per cui non risponde pienamente alle necessità qui richieste. In primo luogo difficilmente è in grado di accorgersi di outliers multipli vicini tra loro; poi il fatto che sia la media m che la deviazione standard s siano fortemente influenzate dagli outliers stessi, fa sì che il potere discriminatorio di questo metodo risulti molto basso. Per porre rimedio a questi limiti, ciò che si intende fare è introdurre un metodo nuovo che si basi su valutazioni alternative delle due grandezze

sopra citate, che siano meno sensibili alla presenza di dati estranei. Per quel che riguarda una stima alternativa della media si fa ricorso alla definizione di *Median*, che può essere così schematizzata:

dato il set iniziale di punti, lo si riordini in una sequenza $\{X_K\}$ a ordine crescente

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \quad (41)$$

con M pari al numero di punti.

Se M è un numero dispari la definizione di *Median* è:

$$x^{''} = median\{X_K\} = x_{([N+1]/2)} \quad (42)$$

se invece M è un valore pari la definizione cambia in:

$$x^{''} = median\{X_K\} = \frac{1}{2} [x_{(N/2)} + x_{([N/2]+1)}] \quad (43)$$

Resta ora da definire la grandezza alternativa alla deviazione standard che possegga le stesse proprietà di insensibilità nei confronti degli outliers. Per far questo trattiamo separatamente i due metodi di determinazione dell'asse di rivoluzione descritti nei paragrafi precedenti.

a) METODO DELLE CURVATURE

Si riporta subito la definizione delle funzioni peso ω_i :

$$\omega_i = \begin{cases} 1 \cdot se \cdot |z_i| \leq 3 \\ 0 \cdot altrimenti \end{cases} \quad (44)$$

In questo caso la grandezza r_i rappresenta la funzione obiettivo. La grandezza z_i è costruita secondo la seguente procedura:

Si calcola il *Median* $x^{''}$ dell'insieme dei dati come descritto sopra.

Si calcola S definito dalla formula:

$$S = 1.4826 \cdot median \left\{ |x_k - x^{''}| \right\} \quad (45)$$

la costante 1.4826 è un parametro di normalizzazione.

Si calcola la nuova deviazione di *student* z_i con:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S} \quad (46)$$

A questo punto si hanno a disposizione tutti gli elementi per implementare un codice basato su questo approccio.

b) METODO DELLE NORMALI

Anche in questo caso è utile avere a vista la definizione delle funzioni peso ω_i per meglio interpretare i passaggi seguenti:

$$\omega_i = \begin{cases} 1 \cdot se \cdot |r_i| \leq c\hat{\sigma} \\ \frac{c\hat{\sigma}}{|r_i|} \cdot altrimenti \end{cases} \quad (47)$$

Si richiama subito l'attenzione sul fatto che anche qui la grandezza r_i rappresenta la funzione obiettivo – la distanza $d(n_i, a)$ - descritta nel metodo. Ciò che va definito è σ e la costante c . Prima ancora, però, a puro scopo informativo, è utile osservare che la definizione di ω_i scritta sopra è detta *Funzione di Huber* in onore al matematico che la ha elaborata. La costante c è un parametro opportuno di confronto e di scala, che lo stesso Huber suggerisce di impostare al valore di 1.345. La deviazione σ , invece, è definita secondo la formula:

$$\sigma = 1.4826 median|r_i| \quad (48)$$

Si faccia attenzione a non ritenere uguali le definizioni di σ , qui sopra, con S del metodo precedente: in questo caso si deve calcolare il *Median* dell'insieme delle funzioni obiettivo, mentre nel metodo delle curvature è richiesto il calcolo del *Median* di un insieme di differenze tra i valori delle funzioni meno il *Median* delle funzioni stesse.

Di nuovo solo a scopo informativo si riporta un'altra scelta possibile per le funzioni peso per questo secondo metodo, e si tratta della funzione peso di *Tukey*:

$$\omega_i = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{|r_i|}{c\sigma} \right)^2 \right]^2 \cdot se \cdot |r_i| \leq c\sigma \\ 0 \cdot altrimenti \end{cases} \quad (49)$$

dove la definizione di s non cambia, e il valore della costante c diventa 4.6851. Non c'è molta differenza tra le due definizioni, così come non c'è una ragione particolare che giustifichi la scelta della prima rispetto alla seconda. Entrambe rappresentano degli ottimi stimatori per gli outliers.

5.3.4. La procedura automatizzata.

Entrambe le procedure descritte nei paragrafi precedenti sono state implementate e incluse nel software PANDORA. In particolare, gli algoritmi sono stati sviluppati nel linguaggio Fortran 90, in modo da poterne sfruttare le potenzialità di risoluzione delle librerie matematiche che ha a disposizione. Le funzioni matematiche contenute nella libreria IMSL del Fortran propongono un ampio ventaglio di soluzioni ai problemi più vari, tra cui, ovviamente, anche diverse procedure per eseguire la minimizzazione di funzioni non lineari come quelle qui descritte. Inoltre, la scelta del Fortran ha permesso di ottenere ridotti tempi di calcolo nell'ottenimento del risultato. Come funzioni minimizzanti sono state scelte la funzione DUMINF e la DUMPOL. La differenza tra le due consiste nel diverso modo con cui calcolano i parametri delle funzioni da minimizzare, come per esempio il gradiente, o per come fanno variare tali parametri durante l'iterazione per la convergenza. In ultimo, per quel che riguarda il processo di automatizzazione, il vantaggio offerto dal codice Fortran risiede nel fatto che è possibile creare una libreria di collegamento dinamico (DLL) compilata in linguaggio macchina da inserire come riferimento tra le librerie di Visual Basic, che, richiamata come una semplice subroutine, esegue tutta la procedura di minimizzazione. In questo modo è stato possibile integrare il procedimento di ricerca dell'asse all'interno del progetto Pandora sviluppato in Visual Basic. Si è riusciti, quindi, ad unire la funzionalità del Visual Basic con le grandi potenzialità di calcolo del Fortran, ottenendo uno strumento di semplice utilizzo per l'utente. In Visual Basic, infatti, tramite il protocollo di automazione del RapidForm, OLE Automation, è stata realizzata una application controller che gestisce dall'esterno il RapidForm (application server). In Fortran, invece, è stato sviluppato l'algoritmo di ricerca dell'asse di rivoluzione, poiché il Visual Basic non permetteva il raggiungimento di così brevi tempi di calcolo.

5.4. La determinazione dell'asse di rivoluzione.

La finestra grafica che si presenta all'utente, dopo aver scelto dal menu la "Procedura di ricerca dell'asse", è riportata in fig. 30.

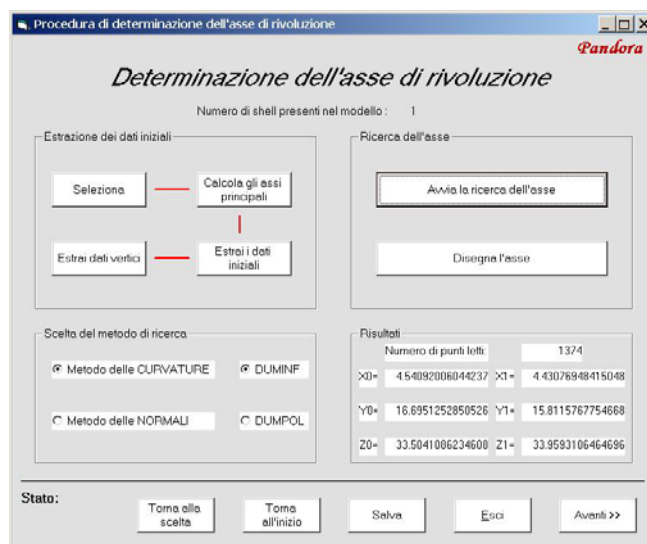


Fig. 30 - Finestra grafica per la determinazione dell'asse

Nella sezione "Estrazione dei dati iniziali", premendo in sequenza i tasti indicati dalla linea rossa, l'utente seleziona la shell su cui vuole eseguire il calcolo dell'asse, successivamente vengono calcolati gli assi principali e di conseguenza viene orientata la shell. Con il tasto successivo vengono richiesti all'utente dei punti per costruire i dati iniziali e infine l'estrazione dei dati relative alle coordinate dei punti e delle normali della shell. I valori di primo tentativo richiesti all'utente sono tre punti sulla shell che formino, in maniera approssimativa, un parallelo del vaso. Questo, ovviamente, non significa che se l'utente non individuerà correttamente il parallelo la determinazione dell'asse di simmetria rimane compromessa. Infatti, tali punti servono all'algoritmo come valori di primo tentativo. Così come il quarto punto richiesto all'utente, anch'esso sulla shell, che serve come valore di primo tentativo di uno dei parametri che governano la funzione da minimizzare. Una volta memorizzati tutti i valori che descrivono la geometria acquisita, l'utente può scegliere l'algoritmo con cui determinare l'asse e per ogni algoritmo può anche scegliere il metodo di minimizzazione, ovvero, DUMINF e DUMPOL. Nella sezione "Ricerca dell'asse" con il primo tasto si avvia il calcolo e con il secondo è possibile, una volta

determinato, disegnarlo accanto alla shell. Le coordinate dell'asse appaiono nella tabella "Risultati" sottostante la precedente.

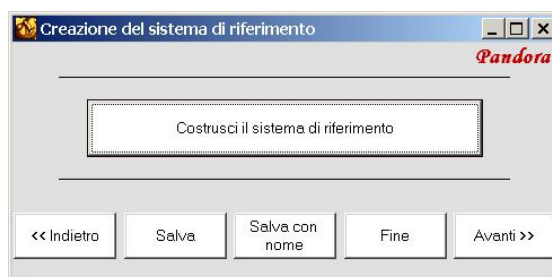


Fig. 31 - Form per la creazione del sistema di riferimento

Premendo il tasto "Costruisci il sistema di riferimento", fig. 31, si avvia una procedura che costruisce una nuova terna di assi cartesiani la cui origine è posta sull'asse determinato, così come una delle tre direzioni è allineata con esso. In particolare, l'origine del sistema è posta nel punto P_0 , di coordinate (x_0, y_0, z_0) , evidenziate nella finestra precedente, l'asse coincidente con l'asse di rivoluzione è X , una seconda direzione è calcolata imponendone l'ortogonalità con la prima, e l'ultima direzione è calcolata automaticamente da RapidForm2004™, ovviamente ortogonale alle altre due. Tale modo di procedere è identico per tutte le shell, così da ottenere dei sistemi di riferimento indipendenti da esse. I tasti presenti sul fondo di ogni finestra grafica permettono sia il salvataggio del file sia di avanzare o tornare indietro nel software.

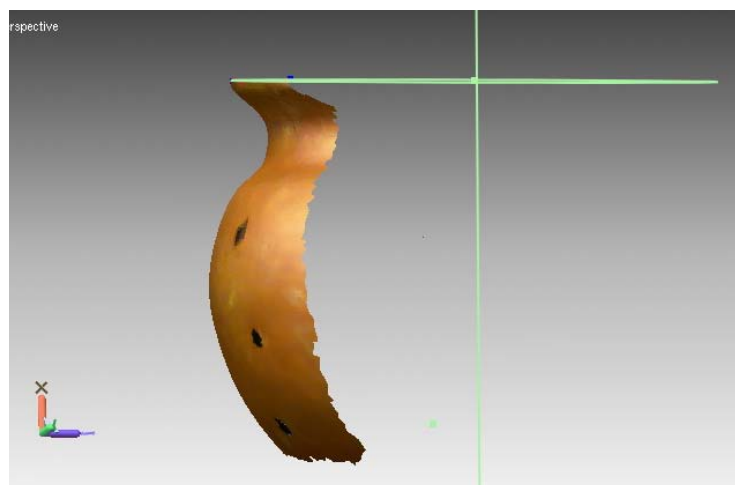


Fig. 32 - Esempio di determinazione dell'asse

5.5. Estrazione dei caratteristiche geometriche del frammento.

Dopo aver trovato l'asse, può essere utile valutare alcune grandezze tipiche della shell, così da fornire dei dati utili per un eventuale confronto e riconoscimento. Inoltre, avendo individuato un sistema di riferimento solidale con l'asse di rivoluzione trovato, è possibile estrarre i parametri di interesse rispetto a quest'ultimo. In tal modo, si possono confrontare caratteristiche di frammenti differenti dello stesso vaso non dipendenti dal sistema di riferimento assoluto, che può variare per i singoli utenti, bensì da quello relativo, assegnato automaticamente e allo stesso modo dal software.

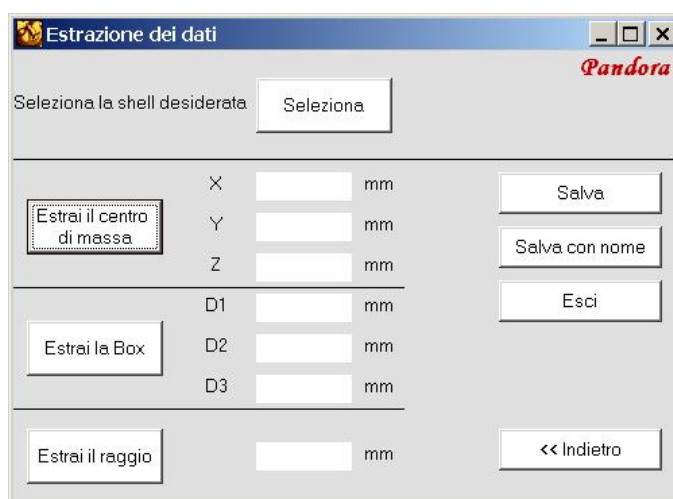


Fig. 33 - Form per l'estrazione delle caratteristiche geometriche

Il software PANDORA estrae le tre grandezze seguenti, fig. 33:

- centro di massa
- ingombro della shell
- raggio del cerchio parallelo passante per il centro di massa.

Il primo, è un punto fisso, individuabile da qualsiasi utente, di cui vengono fornite le coordinate rispetto al sistema di riferimento locale, così da essere facilmente identificabile, fig. 34.

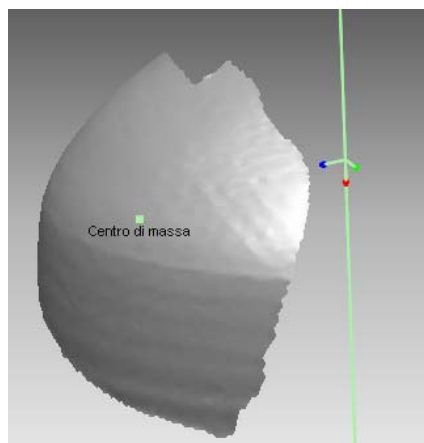


Fig. 34 - Determinazione del centro di massa della shell

Per ingombro della shell s'intende la misura dei tre spigoli del parallelepipedo che la racchiude. È qui il caso di fare un'osservazione: se nel modello si cambia l'orientazione della scansione, le dimensioni del parallelepipedo cambiano, poiché il programma ne mantiene inalterata la posizione, fig. 35. Questo dato assume notevole interesse se si considera che, prima di estrarre l'ingombro, anzi, ancor prima di calcolare l'asse di rivoluzione, la shell viene posizionata in una configurazione per cui il volume della *bounding box* è minimo. Tale assetto è unico, e questo rende significativo il calcolo dell'ingombro.

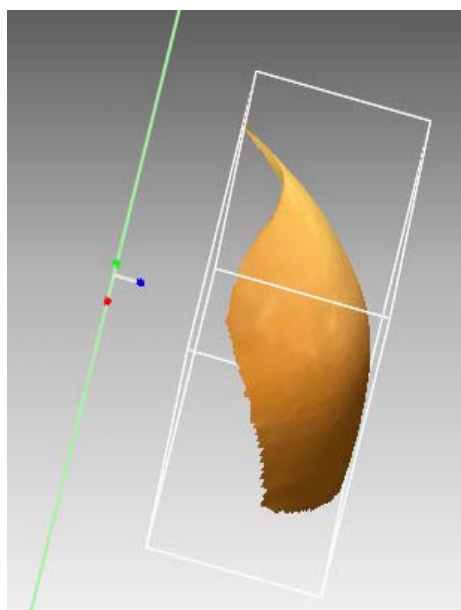


Fig. 35 - Bounding box di un frammento

Infine, si è scelto di fornire una caratterizzazione sulle dimensioni dei diametri della shell. Si è allora pensato di sfruttare uno dei punti invarianti appena calcolati, e cioè il centro di massa della shell. Si è deciso di misurare il raggio della circonferenza che si ottiene come intersezione tra la shell e un piano ortogonale all'asse di rivoluzione, passante per il centro di massa, fig. 36. È anche in fase di realizzazione l'estrazione di alcuni dati relativi all'intersezione della shell con un piano ortogonale al precedente.

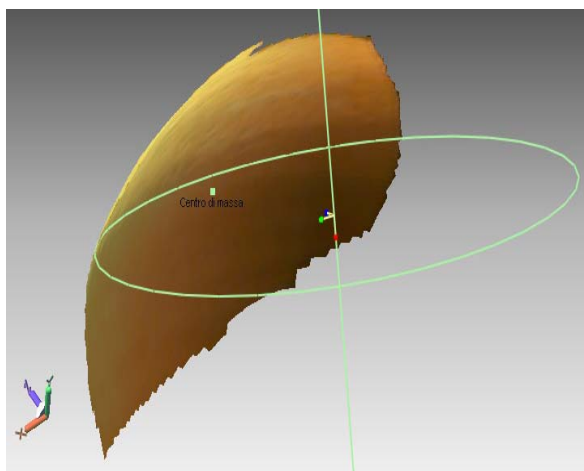


Fig. 36 - Parallelo passante per il centro di massa

L'individuazione di questo parallelo avviene mediante la generazione di un piano la cui normale è parallela all'asse di rivoluzione, passante per il centro di massa; il piano viene fatto intersecare con la shell, dando luogo a una curva. Di tale curva si considerano una serie di punti su cui costruire una circonferenza. Il raggio di questa circonferenza è il valore cercato. E' bene ricordare che l'intersezione del piano con normale l'asse di rivoluzione e la shell, nel caso di una ideale superficie di rivoluzione, è una circonferenza. Trattandosi, invece, di una geometria reale, l'intersezione sarà una curva approssimabile con una circonferenza. Ed è proprio quest'ultima operazione che il software realizza per la costruzione del parallelo.

5.6. Estrazione del profilo.

Lo scopo di questa procedura non è solo quello di estrarre una curva che rappresenti il profilo di un singolo frammento, ma quello di determinare, dati due reperti

appartenenti allo stesso oggetto, se hanno qualche zona in comune, e se si, di sovrapporle per determinare una porzione di profilo più lunga.

Tutta l'operazione è realizzata per mezzo di 3 passi successivi:

- Allineamento dei frammenti
- Ricerca del diametro coincidente
- Operazione di *Registration*

Dapprima, si importano le due shell nel modello, per le quali siano già stati determinati i corrispondenti assi di rivoluzione, e si fanno sovrapporre gli assi stessi. Ovviamente, le due shell devono appartenere allo stesso reperto. Per realizzare l'operazione di sovrapposizione si devono allineare i sistemi di riferimento locali connessi alle shell con il riferimento globale. Trasformando in questo modo tutte le shell, il risultato è quello desiderato, per cui gli assi di rivoluzione risultano perfettamente coincidenti. La trasformazione è possibile una volta noti i parametri di rotazione e traslazione che portano a coincidere i due sistemi di riferimento. Tali parametri possono essere estratti, con l'uso di appositi comandi, in due forme equivalenti: sotto forma di matrice 4x4, o con due vettori. Il dettaglio del loro significato è il seguente:

la matrice è della forma:

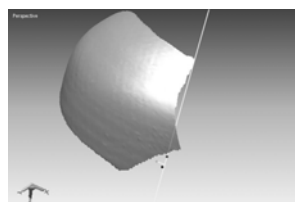
$$\begin{bmatrix} R(0,0) & R(0,1) & R(0,2) & T(0) \\ R(1,0) & R(1,1) & R(1,2) & T(1) \\ R(2,0) & R(2,1) & R(2,2) & T(2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (50)$$

dove gli elementi contraddistinti dal simbolo $R(i,j)$ rappresentano la parte che descrive la rotazione di un sistema rispetto all'altro, per mezzo di una qualsiasi rappresentazione con gli angoli di Eulero, i parametri di Eulero o qualsiasi altra forma; le parti indicate da $T(i)$, sono invece i valori delle traslazioni lungo i 3 assi coordinati che portano a coincidere le origini dei due sistemi di riferimento. L'ultima riga completa solo la matrice rendendola quadrata.

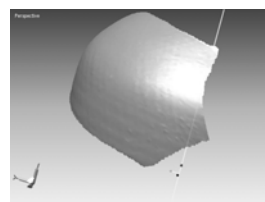
I vettori sono del tipo:

$$\begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{pmatrix} \quad (51)$$

e rappresentano, rispettivamente, gli angoli di rotazione intorno ai tre assi coordinati, e le traslazioni che portano a coincidere le origini. Nel caso in esame viene utilizzata la seconda rappresentazione, più semplice e pratica da applicare. Si vuole osservare, però, che l'allineamento di due sistemi di riferimento, fig. 37, non può essere realizzato in un singolo step, soprattutto quando i valori di traslazione e rotazione sono grandi, ma deve essere implementata una procedura ricorsiva che ad ogni passo realizzi la trasformazione, per poi rilevare i nuovi vettori che identificano la posizione e procedere con la successiva trasformazione. Questo processo deve andare avanti finché le componenti dei due vettori non sono nulle. Poiché è inevitabile che le componenti arriveranno a zero solo dopo un numero di iterazioni molto elevato, si è posto come limite il valore 10^{-4} per cui il processo ricorsivo si arresta.



a)



b)

Fig. 37 - Sistemi di riferimento relativo e assoluto:

a) non allineati; b) allineati tramite la procedura ricorsiva

Nella fig. 38, è possibile vedere il risultato della procedura di allineamento nel caso di shell dello stesso reperto il form del software PANDORA necessario per l'attivazione di tale procedura.



Fig. 38 - Allineamento di due shell

In questa immagine, infatti, i due assi di rivoluzione delle due shell sono perfettamente sovrapposti, così come i due riferimenti locali connessi ad esse; una delle due shell è stata poi ruotata intorno al proprio asse per raggiungere la configurazione mostrata. Successivamente, sia va a ricercare se, sulle due shell, esistano due paralleli con uguale diametro. Lo scopo è quello di trovare parti in comune tra due frammenti appartenenti allo stesso vaso. Tale problema può essere ricondotto alla ricerca di due sezioni uguali, ovviamente considerando un margine di errore prodotto dalle imprecisioni dei processi precedenti, e dal fatto che in un oggetto possono essere presenti più di una sezione ad ugual raggio. Dapprima viene valutata l'estensione delle shell lungo l'asse di rivoluzione, coincidente con l'asse X dei riferimenti globale e locale. Vengono infatti estratte le coordinate massime e minime, lungo l'asse X, di tutto il modello. Tale intervallo rappresenta, a questo punto, lo spazio operativo entro il quale andare a realizzare le sezioni. Il secondo passo consiste nel definire il passo di scansione, e cioè la distanza tra un piano di sezionamento e il successivo. In fig. 39 è mostrata un'immagine dove si vedono i livelli di taglio.

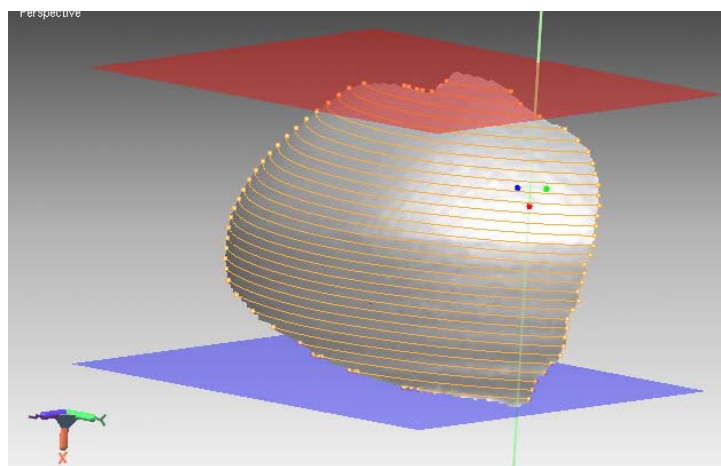


Fig. 39 - Livelli di sezionamento

Le *slices* vengono effettuate, dal software, ogni 2 mm. A questo punto inizia tutta la fase ciclica propriamente detta, con la formazione del piano, l'operazione di intersezione con le due shell, la creazione delle curve intersezione, la valutazione di 20 punti su ognuna di esse, la costruzione della relativa circonferenza del parallelo e la valutazione del corrispondente raggio; tutti i valori dei raggi vengono poi

immagazzinati in appositi array. Un'osservazione importante da fare è relativa all'esito delle operazioni di sezionamento e creazione delle circonferenze. Facendo riferimento alla fig. 39 si può osservare che, iniziando la sequenza di sezionamento, ad esempio, dall'alto, per i primi passi solo una delle due shell verrà realmente intersecata dai piani di taglio; la procedura prevede una gestione dell'errore in modo tale da non interrompersi durante il tentativo di sezionamento della shell posta più in basso.

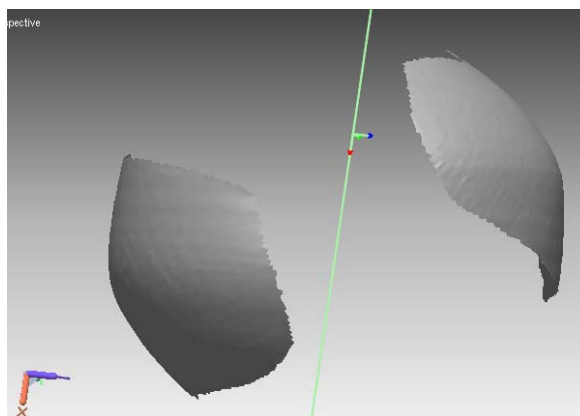


Fig. 40 - Disposizione delle shell prima del sezionamento

Una volta immagazzinate tutte le informazioni delle singole circonferenze, il software procede alla individuazione delle circonferenze con differenza minima. Una volta individuata tali circonferenze, e le relative altezze sull'asse di rivoluzione, si effettua la traslazione che le porta a coincidere, fig. 41.

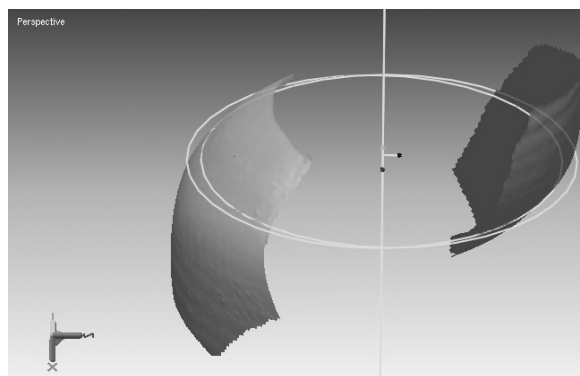


Fig. 41 - Individuazione dei paralleli comuni tra due shell

Infine, vi è l'operazione di registration. Questo comando interno del RapidForm2004™, consente di allineare due shell differenti sovrapponendo due zone con caratteristiche comuni e restituisce il grado di attendibilità del risultato. La realizzazione di quest'operazione prevede, però, per il suo inserimento in un processo automatico, una particolare disposizione delle shell che devono essere coinvolte; infatti è necessario che le zone candidate alla registration siano poste in prossimità l'una dell'altra, così che la routine di esecuzione del comando non trovi difficoltà nell'individuazione delle zone comuni. Per favorire questo avvicinamento, è stato previsto un comando, che automaticamente, è in grado di rilevare l'angolo tra i due vettori che congiungono le origini del sistema di riferimento con il centro delle curve generate dall'intersezione del piano passante per le circonferenze uguali con le shell. Come risultato dell'operazione di registration si ottiene una trasformazione di una delle due shell, in particolare essa assumerà la configurazione che minimizza lo scostamento tra i punti omologhi delle shell stesse. In fig. 42 è mostrato il risultato di un'operazione di registration.

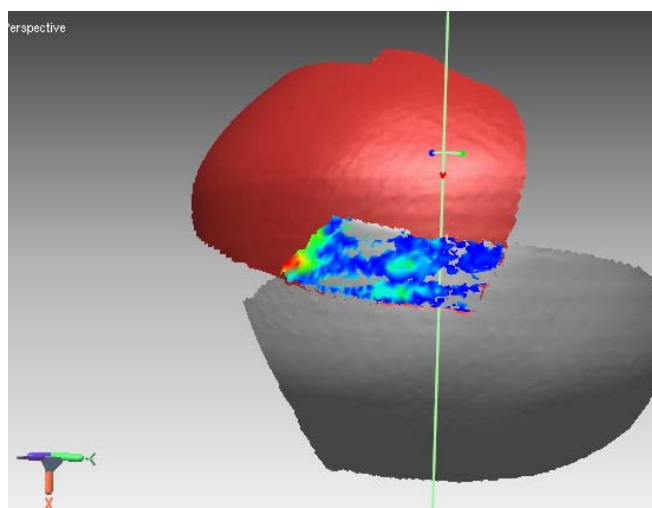


Fig. 42 - Registration delle due shell

La valutazione dell'esito dell'operazione è importante in quanto consente di determinare se la sovrapposizione è accettabile. Il programma RapidForm2004™, consente la valutazione della *registration* con la visualizzazione di una mappa di

deviazioni tra le due shell, così come mostrato in fig. 43. Nella stessa figura è mostrato il form di PANDORA corrispondente a tale operazione.

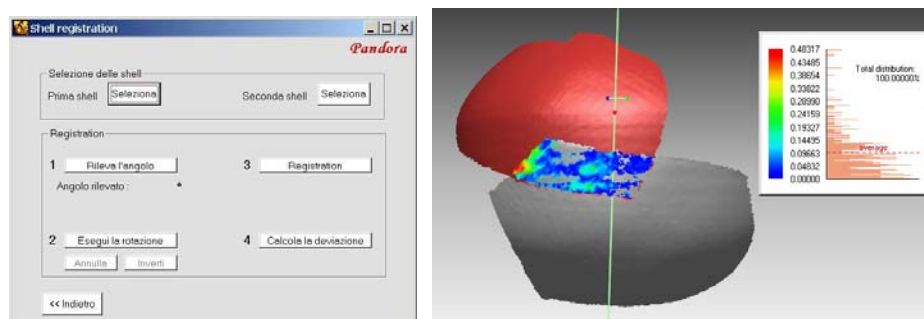


Fig. 43 - Valutazione della registration

Tramite il RapidForm2004™ è possibile l'estrazione di una serie di parametri, tra i quali i valori massimi e minimi della deviazione, la media pesata e la deviazione standard, con i quali si può valutare la bontà della sovrapposizione realizzata. Grazie a tali valori è possibile generare un diagramma, nel software PANDORA, molto significativo in termini di errore: infatti è ragionevole supporre che la distribuzione delle deviazioni nella zona presa in considerazione per la sovrapposizione, sia di tipo normale o, per meglio dire, gaussiana, il che consente di riprodurre il tipico grafico a campana di questo tipo di distribuzione dei dati, fig. 44.

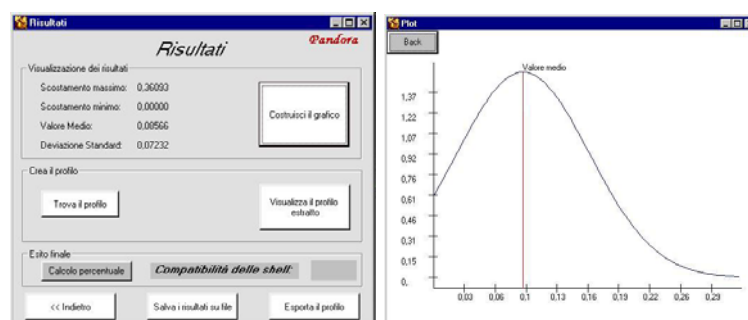


Fig. 44 - Gaussiana della registration

Il grafico viene generato su degli assi costruiti di volta in volta a seconda dei valori assunti dalla deviazione, e fornisce un'indicazione immediata della bontà della *registration*, in quanto più il valore medio è prossimo all'asse delle ordinate, più è preciso il risultato. A questo punto è possibile estrarre il profilo completo delle due

shell sezionando le stesse con un piano passante per l'asse di rivoluzione e per un punto appartenente alla zona di sovrapposizione, come mostrato in fig. 45. Nella stessa figura è mostrato il form corrispondente del software PANDORA per l'individuazione del profilo del vaso.

La linea in corrispondenza dell'ascissa zero, rappresenta l'asse di rivoluzione. Un grafico così fatto consente di individuare immediatamente le dimensioni dei frammenti, facilitando ulteriormente il compito dell'utente.

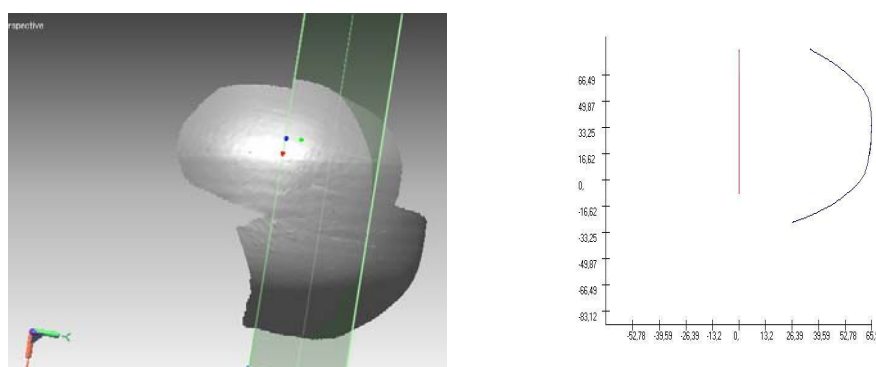


Fig. 45 - Individuazione del profilo

6. Matching dei frammenti.

L'individuazione di frammenti appartenenti allo stesso vaso ci pone di fronte al problema della ricostruzione del reperto. Questa operazione, come le precedenti, non è affatto semplice e richiede molto tempo affinché si giunga alla ricostruzione dell'intero oggetto. Infatti, una volta catalogati come appartenenti allo stesso vaso, i frammenti devono essere assemblati tra di loro. Inevitabili sono le difficoltà dovute alla determinazioni di frammenti con bordi compatibili per essere avvicinati, come in un puzzle. Proprio eliminare tali difficoltà nel processo di ricostruzione, si è deciso di implementare una procedura che consenta, una volta acquisita la geometria dei frammenti, di individuare quelli con contorni omologhi tali da poter essere assemblati nella ricostruzione del reperto. A tale scopo sono state sfruttate le già citate proprietà delle tecniche di reverse engineering. Infatti, una volta acquisita la

geometria dei frammenti tramite lo scanner 3D, è possibile confrontare il bordo dei frammenti e confrontarli tra loro. Questa procedura di confronto, che va a sostituire l'intervento umano, immagazzina i dati matematici del frammento come curvatura e torsione e inoltre va a confrontarne i bordi. Tramite un processo di minimizzazione della distanza dei punti appartenenti a bordi di frammenti diversi, individua le zone dei contorni che sono sovrapponibili. Lo script sviluppato per il software RapidForm2004 è stato realizzato in Visual Basic per poter usufruire, come detto, del protocollo i OLE Automation del software stesso, e prende il nome di ARCHEOANGEL ed è stato sviluppato da alcuni degli autori. In questo modo è stato possibile automatizzare i vari procedimenti implementati, realizzando una veste grafica del software di tipo "user friendly" in modo che risulti di facile e intuitivo utilizzo.

6.1. Catalogazione dei frammenti.

Per la realizzazione della procedura di catalogazione dei frammenti si è seguito lo schema adottato fino ad oggi, seppur in maniera manuale, dagli archeologi. Si è fatta questa scelta per rendere realizzare uno strumento che risulti il più vicino possibile alle abitudini di lavoro dell'utente. Inoltre, si è deciso di utilizzare lo stesso tipo di catalogazione finora adottata in modo da realizzare un database del tutto simile a quelli fino adesso disponibili. Si è quindi realizzato un database in Access completamente automatizzato tramite i comandi di OLE Automation. Il form per l'inserimento dei dati necessari alla catalogazione è rappresentato in fig. 46.

The screenshot shows a Windows application window titled "Di Leggio Roberto - [Dati delle zone]". The interface includes a menu bar (File, Visualizza, Strumenti, Help) and a toolbar with buttons for "Indietro", "Avanti", and "Stampa". The main form area is divided into several sections:

- Comune** and **provincia** fields.
- Scheda n°** (value: 2) and **Zona** (value: 14.2).
- Nome CTR** (value: 30/150), **Numero CTR** (value: 30/150), and **Toponimo CTR** (value: Tenza la cartografia).
- Nome Tavolella IGM** (value: F° 150 IV 780), **Tavolella IGM** (value: F° 150 IV 780), and **Toponimo IGM** (value: Tenza la cartografia).
- Descrizione** field with a text area.
- Suolo** (value: eroso) and **Visibilità** (value: ottima) fields.
- Materiale costruzione** section with a text area.
- Materiale ceramico** section with a text area.
- Tipologia ceramica** section with a text area.
- Cartografia storica** section with a text area.
- Bibliografia** section with a text area.
- Note** section with a text area.
- Cognome Nome** (value: Di Leggio Roberto) and **Data** (value: 07/12/2002) fields.
- A **Visualizza Immagine** button and a small image of a brick wall.

The bottom of the window shows the Windows taskbar with the "start" button and several open applications.

Fig. 46 - Form per la catalogazione

Il form prevede l'inserimento della zona di ritrovamento e delle sottozone. Le aree, infatti, sono già catalogate tramite delle carte particolari come le *Tavolette IGM* e le *CTR*. La scheda comprende pure una parte per una breve *Descrizione* della zona in questione ed la tipologia di *Suolo*. Se il ritrovamento avviene all'interno di una costruzione di qualsiasi genere si compilerà pure il campo relativo al *Materiale costruzione*. Per quanto riguarda i frammenti si descriverà il *Materiale ceramico* e la *Tipologia della ceramica*. Ultimo dato relativo ai frammenti sarà la *Visibilità*, ovvero se tali frammenti sono stati di facile individuazione o se la visibilità era scarsa magari per causa del loro sotterramento oppure situati in zone della costruzione di difficile accesso. Altri dati importanti sono le *Cartografie storiche*, perché mostrano il territorio e le costruzioni presenti nell'epoca a cui risalgono tali frammenti o la costruzione in cui sono stati ritrovati fornendo dati importanti sul tipo di reperto e sul suo utilizzo. I dati, una volta introdotti tramite i form precedenti, vengono memorizzati nel record corrispondente del database, fig. 47.

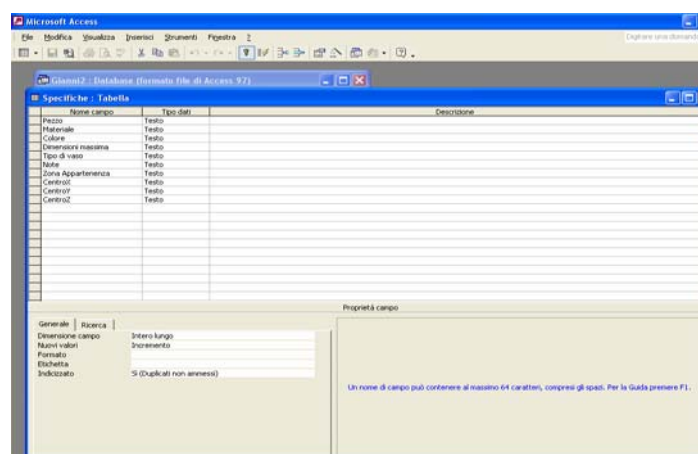


Fig. 47 – Esempio di file del database

6.2. Analisi dei frammenti.

L'individuazione di frammenti i cui contorni siano sovrapponibili è fatta mediante l'analisi e il confronto delle curve appartenenti al bordo. Le curve di contorno dei frammenti sono curve tridimensionali. Questa tipologia di curve vengono descritte da due parametri: curvatura e torsione. La curvatura e la torsione sono caratteristiche puntuali, quindi per descrivere la curva in esame avremo bisogno dei valori delle

curvature e delle torsioni in un certo numero di punti. Inserendo tali valori in due vettori abbiamo l'andamento dei due parametri citati su tutta la lunghezza della curva. Questi valori vengono quindi inseriti nel database. Ripetendo la procedura per tutti i frammenti in esame si ottengono gli andamenti delle curvature e delle torsioni di tutti i bordi dei frammenti. Se due vettori avranno similitudini per tutta la loro lunghezza o per buona parte di questa vorrà dire che per quel tratto i due profili combaciano. Dapprima viene calcolato un punto caratteristico per entrambi i bordi, da dove ha inizio il confronto delle due curve. Una volta individuata la zona in comune, il software realizzerà una rotazione tale da sovrapporre la parte in comune dei bordi. Così facendo i due frammenti vengono uniti. Praticamente come se l'operatore lo stesse facendo a mano, ma con la sicurezza di un'operazione virtuale, ovvero senza correre il rischio di rottura e con la possibilità di ripetere l'operazione stessa. Riportando i risultati dei confronti nel database il software è in grado quindi di determinare quali frammenti possono essere accostati per la successiva ricostruzione, individuare un punto caratteristico e calcolare poi la trasformazione per l'assemblaggio. I dati sulla curvatura e la torsione vengono estratti direttamente dal software sviluppato e non dal RapidForm. Il software è quindi in grado di funzionare con dati di input non necessariamente provenienti dal Rapid Form, ma da qualsiasi altro programma. In particolare RapidForm parametrizza le curve con una funzione $\gamma(S)$ con $s = 0 \dots 1$ come mostrato in fig. 48.

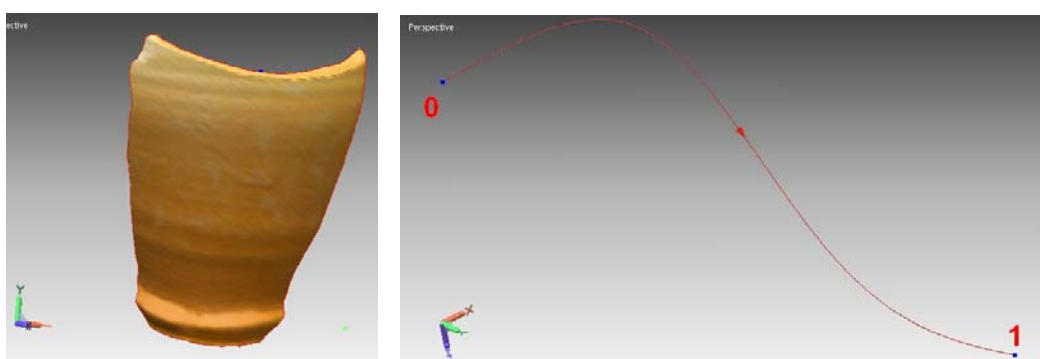


Fig. 48 - Individuazione e parametrizzazione della curva di bordo

Ad ogni valore del parametro S la funzione $\gamma(S)$ descrive le coordinate x , y e z del punto sulla curva corrispondente a tale parametro. Ad esempio ad $s = 0.5$ $\gamma(S)$ rappresenterà le coordinate x , y , z ad $L/2$.

$$\Rightarrow \gamma(s) = \begin{Bmatrix} x(s) \\ y(s) \\ z(s) \end{Bmatrix} \quad (52)$$

Per il calcolo delle curvature e delle torsioni serviranno però le derivate successive di tale funzione. Il problema che ora si propone è il calcolo di tali derivate. Infatti non siamo in possesso della funzione $\gamma(S)$. Possiamo solo estrarne i valori al variare di S . Sappiamo però che le curve vengono percorse al variare del parametro S a velocità costante. Possiamo sfruttare questa proprietà ragionando per infinitesimi.

Infatti sappiamo che la velocità è pari a :

$$v = \frac{\Delta p}{t} \quad (53)$$

con p = posizione di un punto

e naturalmente sappiamo pure che la velocità corrisponde alla derivata prima della funzione spostamento. Quindi in questo caso:

$$v = \dot{\gamma}(s) \quad (54)$$

Supponendo in primo luogo $t=1$ possiamo calcolare dunque la velocità di un punto, fig. 49:

$$v_1 = (p_2 - p_1) / 1 \quad (55)$$

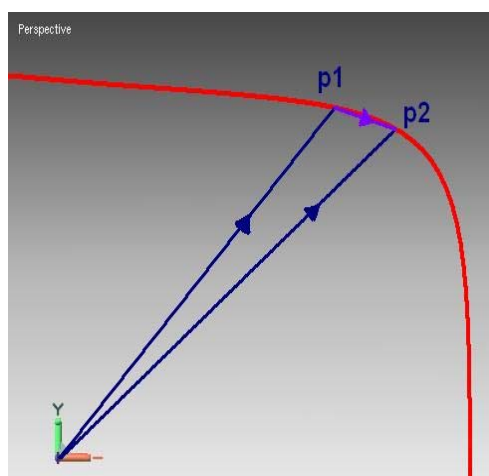


Fig. 49 - Rappresentazione delle grandezze geometriche

quindi

$$\dot{\gamma}(s_1) = \gamma(s_2) - \gamma(s_1) \quad (56)$$

Estraendo quindi le coordinate di n punti sulla curva al variare del parametro S

$$\dot{\gamma}(s_i) = \gamma(s_{i+1}) - \gamma(s_i) \quad (57)$$

Abbiamo quindi calcolato i valori della derivata prima.

Con lo stesso ragionamento possiamo così calcolare le derivate successive fino alla derivata terza, necessaria per il calcolo della torsione. In particolare, essendo la velocità costante, l'accelerazione avrà solo componente normale e sarà pari a :

$$\ddot{\gamma}(s_i) = \dot{\gamma}(s_{i+1}) - \dot{\gamma}(s_i) \quad (58)$$

di seguito:

$$\ddot{\gamma}(s_i) = \ddot{\gamma}(s_{i+1}) - \ddot{\gamma}(s_i) \quad (59)$$

Quindi arriviamo al calcolo delle componenti delle derivate prime seconde e terze tramite approssimazione. Affinché risultino ben approssimate si necessita di un numero di punti sufficientemente elevato tali da poter rendere valida l'approssimazione della velocità (tangente) con la congiungente di due punti. Tramite varie prove fatte si è visto che abbiamo una buona approssimazione prendendo un numero di punti $n = 10000$. Naturalmente aumentandoli ancora l'errore che si commette è sempre più piccolo, ma aumentare troppo tale numero vuol dire aumentare il tempo di calcolo. Con tale compromesso si arriva ad un errore per la Curvatura dello 0,5% e 0.8% per la Torsione. L'errore per la torsione naturalmente risulterà maggiore dipendendo anche dalla derivata terza e quindi richiederà un approssimazione maggiore. Variando quindi S da 0 ad 1 con step di 0,00001 calcoleremo i valori delle coordinate x, y, z per 10000 punti dalle quali poi ricaveremo i valori di Curvatura e Torsione, sempre per 10000 punti.

Aumentando ancora il passo di suddivisione della curva porta ovviamente ad una diminuzione dell'errore di approssimazione ma allo stesso tempo aumenta il tempo di calcolo. Poiché l'errore di approssimazione si mantiene accettabile per questa suddivisione, si è scelto di implementare questo tipo di suddivisione nel software.

I dati fino ad ora calcolati non sono ancora pronti per l'immissione nel database. Infatti i vettori contenenti i valori delle Curvature e Torsioni. Proprio per come sono stati ricavati, tali vettori, saranno costituiti da 10000 elementi ciascuno. Fra il valore n ed il valore $n+1$ si passerà dal punto P_n al punto P_{n+1} .

Passando da un punto all'altro si sarà spazzato un tratto di curva pari a $\frac{L}{10000}$.

Poiché la suddivisione della curva è fatta per un numero fisso di intervalli, a seconda della sua lunghezza, gli intervalli avranno un'ampiezza differente dipendente dalla lunghezza della curva. Per questo motivo, prima di un confronto tra i bordi dei frammenti è necessario che il software operi una opportuna riscalatura dei vettori. Anche per questa operazione è stata valutata l'influenza che ha sull'andamento della curva. Anche in questo caso si è notato che l'andamento delle curve in esame non viene alterato da un differente campionamento. Ovviamente, un differente campionamento può operare una attenuazione dell'andamento delle curve. Nel processo di scansione bisogna fare attenzione al bordo del frammento. Infatti, una scansione non ottimizzata può portare ad un bordo frastagliato, che crea inevitabili problemi nel successivo trattamento dei dati, fig. 50.

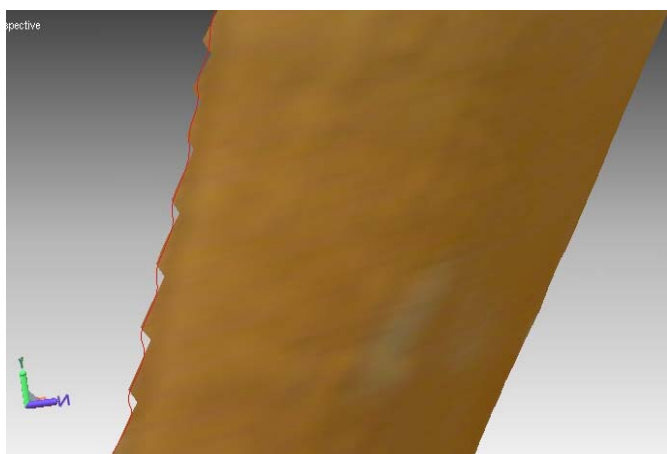


Fig. 50 - Esempio del frastagliamento del bordo

Nel RapidForm è comunque possibile estrarre l'involuppo di un bordo frastagliato e minimizzare l'errore nel successivo trattamento dei dati. Le operazioni,

precedentemente descritte, vengono attivate tramite il form del software mostrato in fig. 51.

The screenshot shows the 'ArcheoAngel - [Elaborazioni dati]' window. It features a menu bar with 'File', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Strumenti', and 'Val al 7'. The main area is divided into sections: 'Selezione pezzo' with navigation buttons and a text field containing '14.2.1 SX'; 'Stato d'avanzamento' with a vertical stack of progress bars for 'x, y, z', 'Vx, Vy, Vz', 'Ax, Ay, Az', and 'At, At, At'; and a 'Determina Curvatura e Torsione' button. At the bottom, there are buttons for '<< Indietro' and 'Immissione dati nel database'.

Fig. 51 - Form per l'estrazione dei dati

Selezionare il frammento che si vuole esaminare il programma carica il file relativo e determina, mediante il Rapid Form, le coordinate dei 10000 punti. Calcola, quindi, le relative derivate, le curvatures e le torsioni nei 1000 punti. Dopo aver riscaldato i vettori i valori vengono inseriti nel database. La tabella del database corrispondente è rappresentata in fig. 52.

The screenshot shows a Microsoft Access database window with the table 'Torsione e curvatura' open. The table has columns: 'K', 'Tau', 'Pessione', 'Pezzo Appart', and 'ID'. The data is organized into rows, with some rows highlighted in blue. The table is displayed in a grid view.

K	Tau	Pessione	Pezzo Appart	ID
0.105974725	3.139795323000	0	autocad z	3280
0.55122530551	-1.81402593511	0.5	autocad z	3281
2.91773305243	-0.3174188248	1	autocad z	3282
1.13968139619	0.98482267304	1.5	autocad z	3283
0.192741354211	-1.46589950670	2	autocad z	3284
0.20553337702	-1.9543166895	2.5	autocad z	3285
0.27289341263	2.74599212180	0	autocad z	3286
0.58410680429	-1.5555281206	0.5	autocad z	3287
2.7520067692	-0.3234959871	1	autocad z	3288
1.14794261984	1.0120418453	1.5	autocad z	3289
0.18710575667	-1.5759517147	2	autocad z	3290
0.18543942549	-4.0336412502	2.5	autocad z	3291
0.76102111800	-1.5801891119	3	autocad z	3292
1.75762048611	-0.1927104564	3.5	autocad z	3293
0.60236154787	1.4536884159	4	autocad z	3294
0.15759634277	2.83903326193	4.5	autocad z	3295
0.16800247449	5.15439103847	0	14.2 dx	3296
0.15025833896	6.54075266540	0.5	14.2 dx	3297
0.13194421686	8.55481836611	1	14.2 dx	3298
0.11454955209	1.10652400143	1.5	14.2 dx	3299
9.84813612869	1.43003220485	2	14.2 dx	3300
8.40036891418	1.30531710924	2.5	14.2 dx	3301
7.13147411042	1.80449548442	3	14.2 dx	3302
6.01042509569	2.49700600459	3.5	14.2 dx	3303
5.02731100711	3.47975643533	4	14.2 dx	3304
4.18754523615	4.91290370996	4.5	14.2 dx	3305
3.37865147638	0.12162137419	5	14.2 dx	3306
2.64040885778	0.18624874337	5.5	14.2 dx	3307
2.03219092241	0.28099508463	6	14.2 dx	3308

Fig. 52 - Esempio di file del database

La tabella contiene i valori di torsione e di curvatura contiene appunto i valori della curvatura e della torsione nei relativi punti distanziati tra loro di 0,5mm della curva.

Ogni file è registrato con il nome dato al frammento. Il software prevede anche un controllo sui nomi dati ai frammenti in modo che non vi sia possibilità di avere file con lo stesso nome.

6.3. La procedura implementata.

La valutazione della possibilità di matching tra due frammenti è possibile tramite il confronto degli array che contengono i valori della curvatura e della torsione.

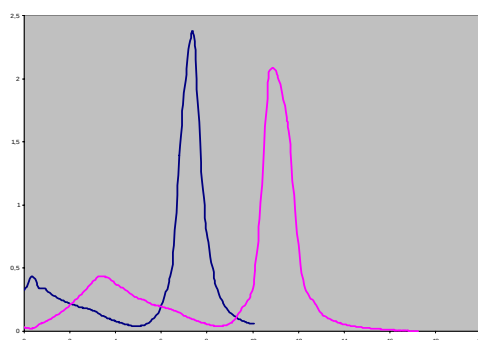


Grafico 1 – Confronto tra dati negli array

La procedura implementata in pratica valuta l'area tra le due curve per tutte le configurazioni possibili scorrendo di volta in volta gli indici degli array. Calcolata l'area in tutte le configurazioni, il software determina quali posizioni dei due vettori minimizzano l'area tra le due curve. Vengono individuati i corrispondenti elementi degli array che realizzano tale configurazione. Per ottenere una maggiore regolarità della curva è necessaria una preventiva operazione di *smoothing*, fig. 53.

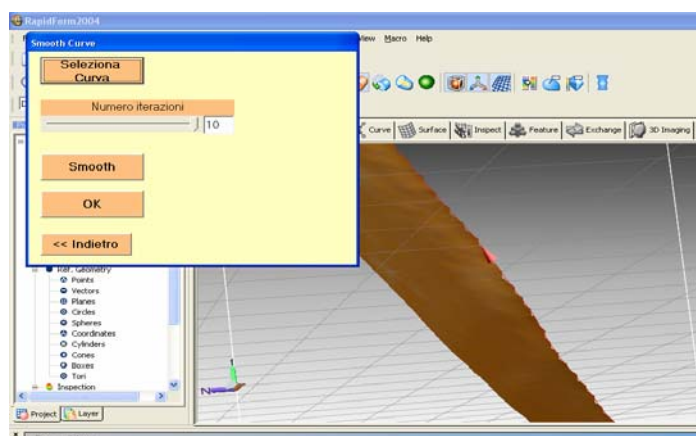


Fig. 53 - Smoothing sul contorno

Nel grafico successivo, grafico 2, sono rappresentati gli andamenti delle curve prima, e dopo lo smooth, quella meno frastagliata.

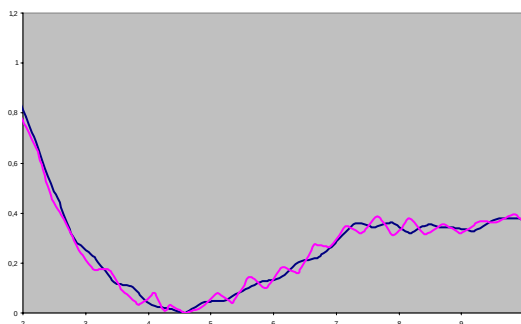


Grafico 2 –Curve prima e dopo lo smooth

Questo procedimento di smooth è stato necessario, poiché si è visto che una curva costruita in Autocad e importata nel Rapid Form, viene comunque distorta.

Scorrendo le varie disposizioni delle curve corrispondenti allo scorrimento degli elementi degli array si arriva alla condizione di minima area, grafico 3.

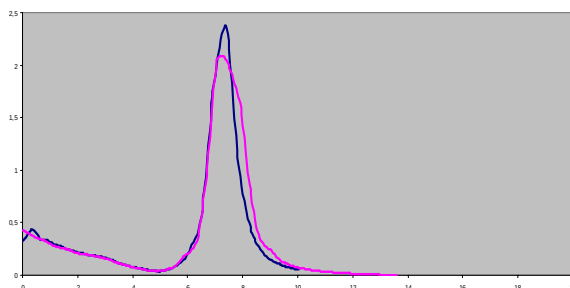


Grafico 3 – Condizione di area minima tra le curve

Per questa condizione viene estratto il punto del bordo da dove inizia la sovrapposizione delle curve, fig. 54.

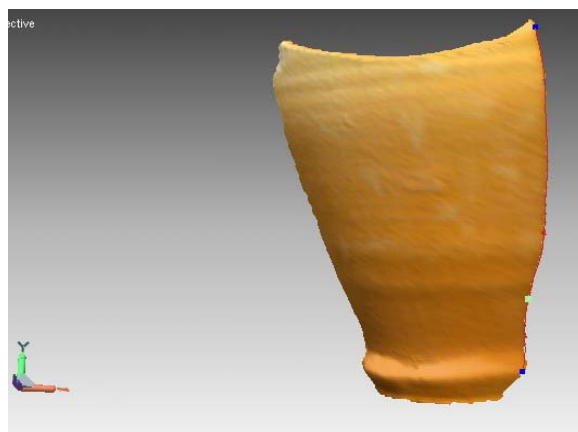


Fig. 54 - Bordo compatibile per il matching

Nel database viene creata una apposita tabella su cui vengono registrati: i valori di minima area della curvatura e della torsione, le coordinate x,y, e z dei due punti delle due curve, la lunghezza per la quale risulta valido il confronto ed infine i nomi dei due frammenti che si sono confrontati, fig. 55.

	area1	area2	p1X	p1Y	p1Z	p2X	p2Y	p2Z	lunghezza	pezzo1	pezzo2
0	0.4218	0.4073	21.576	40.3723	807.637	52.40	33.5	799.45	14.2	dx	14.2
24	0.1023	3.1574	-53.330	-55.1815	-808.428	0	0	1	14.2	xx	autocad.2
25	0.6847	4.3034	-53.330	-55.1815	-808.428	0.5566	8.086	-2.48	14.2	xx	autocad.2
26	1.3042	6.8654	-50.028	-23.4200	-793.509	-33.69	12.64	-775.43	14.2	xx	14.2

Fig. 55 - Record con i dati del confronto

Successivamente, l'utente, fig. 56, può far ricercare al programma tutti i frammenti catalogati, eseguendo il confronto fra tutti i pezzi trovati. Individuati i file compatibili per il matching apre i file corrispondenti tracciando il punto caratteristico sul bordo del frammento.

Fig. 56 - Form per l'individuazione di frammenti compatibili nel database

Infine, una volta individuato l'asse di rivoluzione dei frammenti appartenenti ad uno stesso vaso mediante il software PANDORA, è possibile far combaciare le parti in comune dei bordi dei frammenti. Tale operazione è fatta in maniera automatica dal software che una volta individuati i punti in comune dei bordi dei frammenti li ruota attorno all'asse di rivoluzione fino a portare le zone in comune in sovrapposizione. Il risultato finale è mostrato in fig. 57.

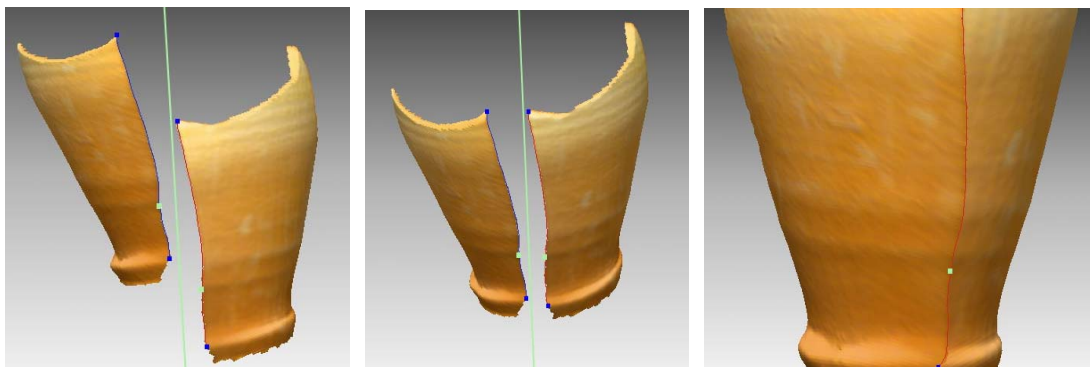


Fig. 57 - Matching dei frammenti

7. Risultati.

La fase finale di questo progetto prevedeva la rottura del vaso di test case. I frammenti del vaso sono stati oggetto di studio da parte delle singole unità operative. Nel nostro caso abbiamo testato gli algoritmi messi a punto per la ricostruzione del reperto, precedentemente descritti. In questo paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti per alcuni frammenti del vaso di test case. In pratica, una volta acquisiti i

singoli frammenti, la loro geometria è stata processata dagli algoritmi sviluppati che hanno permesso di determinare l'asse di rivoluzione del frammento e, successivamente, il posizionamento dello stesso rispetto alla forma originaria del vaso. Infine è stata valutata la bontà della operazione finale di registration della shell del frammento con quella del vaso intero. Di seguito vengono riportati alcuni dei risultati ottenuti.

Per ogni frammento il procedimento seguito è stato il seguente:

- il frammento corredato dell'asse di rivoluzione viene importato nel file contenente la geometria del vaso di test case
- viene eseguita l'operazione di allineamento degli assi del frammento e del vaso
- il frammento viene eventualmente ruotato
- vengono fatte delle *slice* su entrambe le mesh per determinare le quote per cui si ha uguale distanza dall'asse
- viene eseguita la traslazione che porta alla stessa quota il frammento e il vaso;
- il frammento risulta ora sovrapposto al vaso
- la sovrapposizione viene valutata tramite l'operazione di *registration* delle due shell.

Entrambi gli applicativi sono stati testati anche su manufatti commerciali, in particolare, sui frammenti di una piccola anfora e un salvadanaio.

7.1. Frammenti del vaso di test case.

In questo paragrafo vengono riportati i risultati più significativi ottenuti sugli 11 frammenti del vaso di test case. Ciascuno dei frammenti è corredato di un numero identificativo. Di seguito vengono riportate le analisi fatte sui frammenti di interesse rispettando il numero di catalogazione. La sequenza delle operazioni è stata illustrata nel paragrafo precedente ed è comune a tutti i frammenti del vaso di test case.

7.1.1. Frammento n°1.

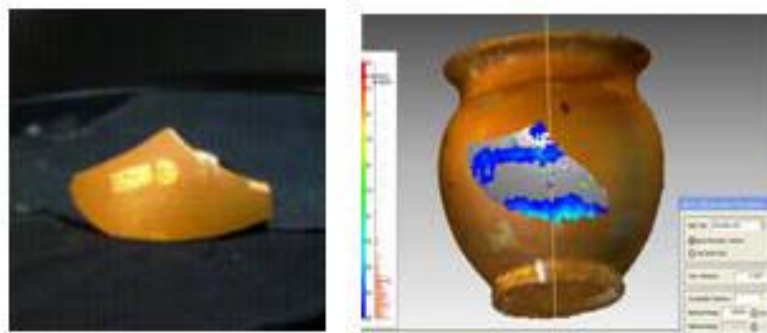


Fig. 58 - Il frammento reale, ricostruzione della posizione iniziale e valutazione del matching

Il software PANDORA posiziona il frammento sul vaso intero in modo da poterne riconoscere l'originaria collocazione, fig. 58. Questo modo di procedere risulta di grande aiuto nella ricostruzione del reperto una volta che sia disponibile l'archetipo del vaso. La valutazione della registration è fatta tramite la gaussiana riportata nella fig. 59. Come si può vedere i dati sono molto ravvicinati tra loro con pochi *outliers*.

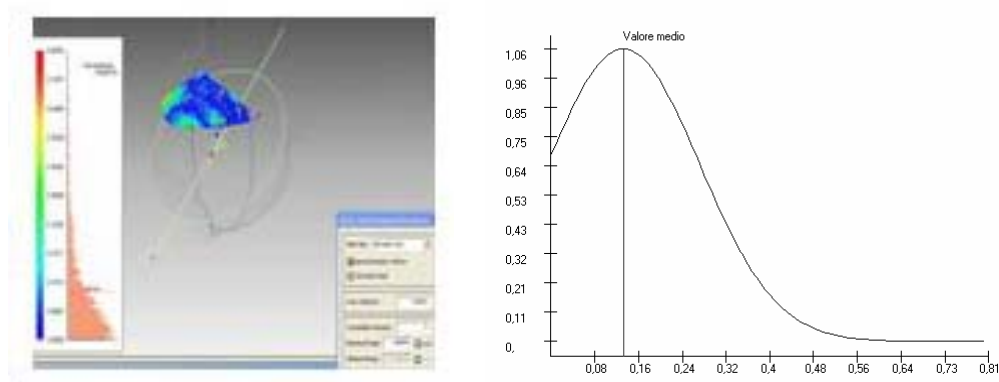


Fig. 59 - Sovrapposizione delle due *shell* e valutazione dell'operazione

7.1.2. Frammento n°8.

Il posizionamento di questo frammento rispetto al modello digitale del vaso intero è mostrato in fig. 60.



Fig. 60 - Il frammento reale e posizionamento del frammento sul modello del vaso

La determinazione preventiva dell'asse di simmetria del frammento e del vaso intero permette il corretto posizionamento del primo rispetto al secondo, mediante l'individuazione di paralleli comuni tra loro.

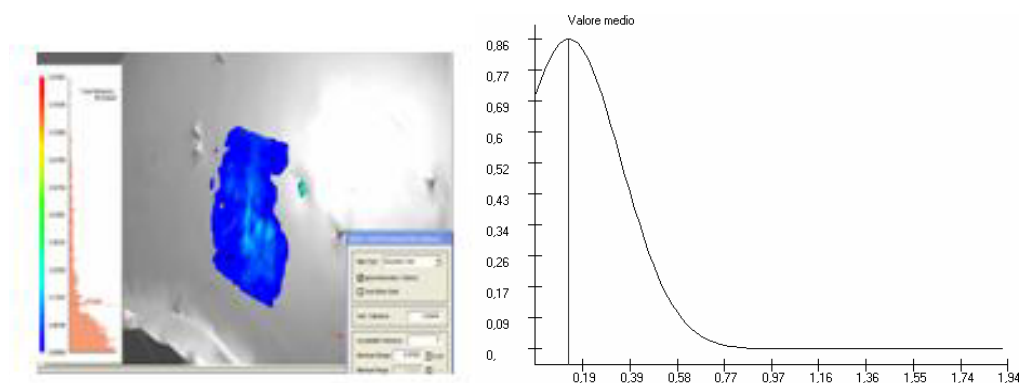


Fig. 61 - Sovrapposizione delle due *shell* e valutazione dell'operazione

La valutazione della *registration* delle due *shell* permette di verificare il successo del posizionamento del frammento, mediante l'analisi della curvatura della superfici sovrapposte, fig. 61.

7.1.3. Frammento n°10.

Anche per questo frammento vengono di seguito riportati i risultati ottenuti, fig. 62.

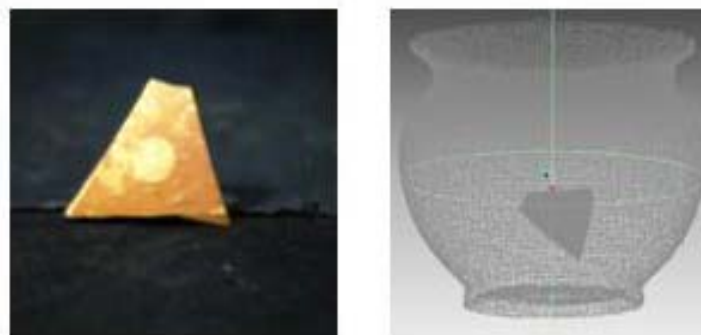


Fig. 62 - Il frammento reale e il posizionamento del frammento sul modello del vaso

La valutazione della sovrapposizione è fatta riportata in fig. 63.

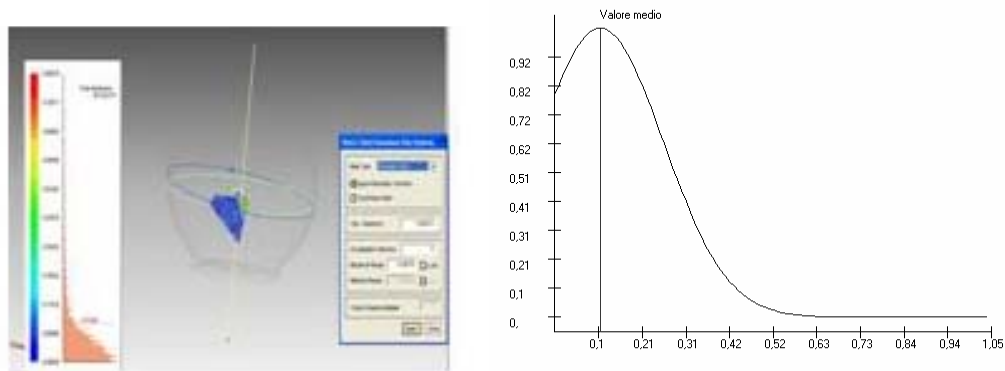


Fig. 63 - Sovrapposizione delle due *shell* e valutazione dell'operazione.

7.2. Anfora.

Dopo aver affrontato la ricostruzione del vaso do test case si è voluto tentare con una forma differente del vaso. In particolare, si è acquisita la geometria di una piccola anfora, fig. 64.

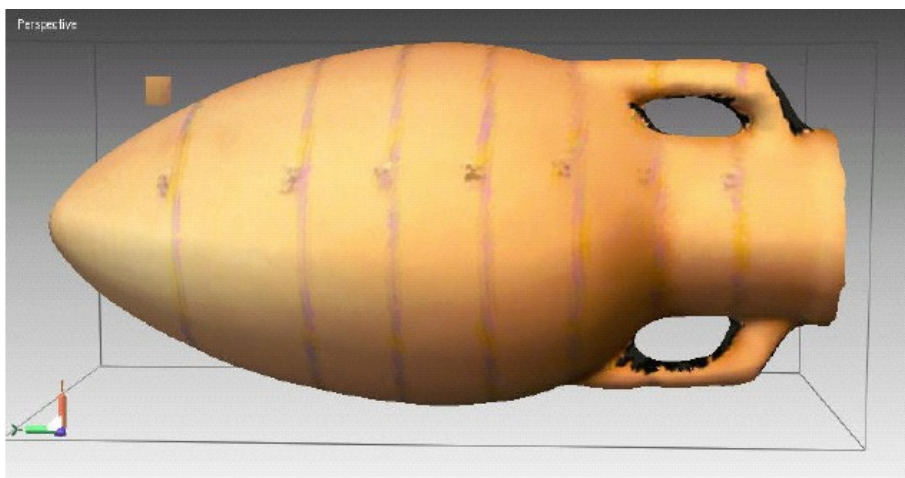


Fig. 64 – Anfora.

L'anfora è stata dapprima misurata con i sistemi di misura convenzionali e sulla sua superficie esterna sono stati segnati dei paralleli a quote differenti.

Dopo la rottura, i singoli frammenti sono stati acquisiti e per ciascuno è stato determinato l'asse di simmetria. L'anfora presenta una conformazione particolare. Prima di tutto ha due manici e una forma allungata verso l'estremità. Questi due fattori possono influenzare la determinazione dell'asse, in particolare la presenza dei manici che non fanno rispettare più la condizione iniziale, ovvero, l'ipotesi di solidi di rivoluzione.

7.2.1. Frammento "C".

Questo frammento, come si vede dalla fig.65, presenta, nell'estremità inferiore sinistra, una parte del manico. Una geometria così fatta può influenzare l'algoritmo di determinazione dell'asse, non rispondendo i punti che descrivono la parte del manico, all'ipotesi di assialsimmetria. Di contro però abbiamo che l'algoritmo ha la capacità di valutare dei punti, *outliers*, che si trovino al di fuori della giacitura media della distribuzione.



Fig. 65 - Frammento "C"

In fig. 66, è riportato il risultato della determinazione dell'asse di simmetria il parallelo passante per il baricentro del frammento. Il raggio del parallelo baricentrico è pari a 31.3 mm.

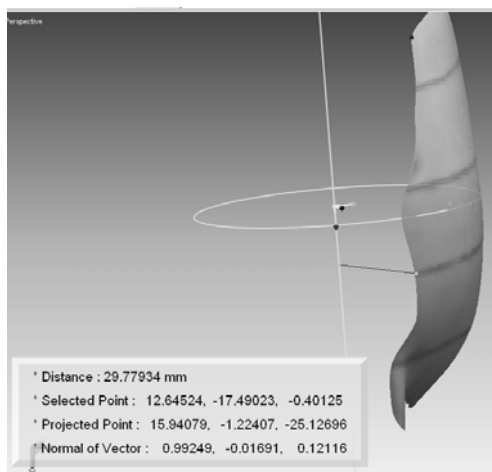


Fig. 66 - Individuazione dell'asse di simmetria

Sperimentalmente si è misurato il raggio del parallelo appena sotto a quello baricentrico, fig. 67.

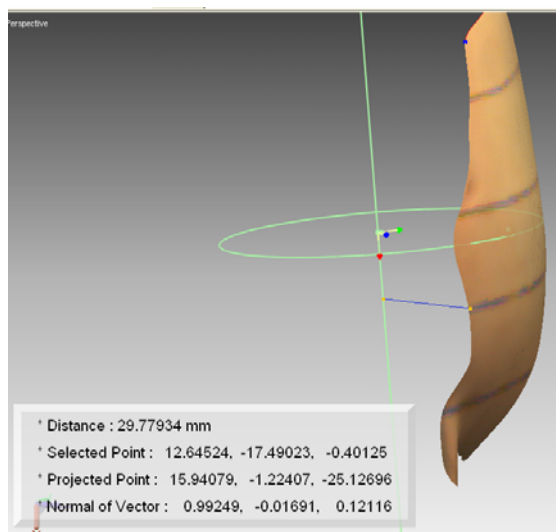


Fig. 67 - Estrazione del raggio del parallelo

Tabella 3. Confronto tra i raggi misurati.

	Misurazione sperimentale	Misurazione tramite software
Raggio	29.7 mm	29.77 mm

7.2.2. Frammento “F”.

Per questo frammento, oltre che la determinazione dell'asse si è proceduto alla ricerca dei bordi comuni con altri frammenti dell'anfora preventivamente catalogati all'interno di un database tramite il software ARCHEOANGEL.

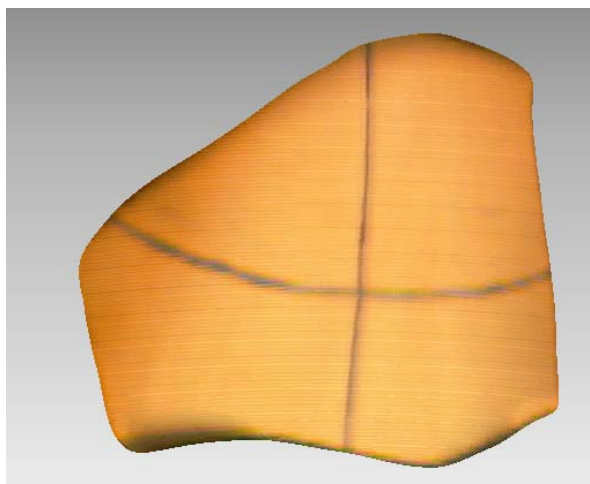


Fig. 68 - Frammento “F”

Quest'ultimo determina curve di bordo, di frammenti differenti, che hanno parametri di curvatura e torsione che soddisfano i criteri di selezione implementati, di cui si è discusso in precedenza. In fig. 69, è riportato la porzione di bordo che può essere sovrapposta a quella del frammento "C" per un successiva ricostruzione virtuale.

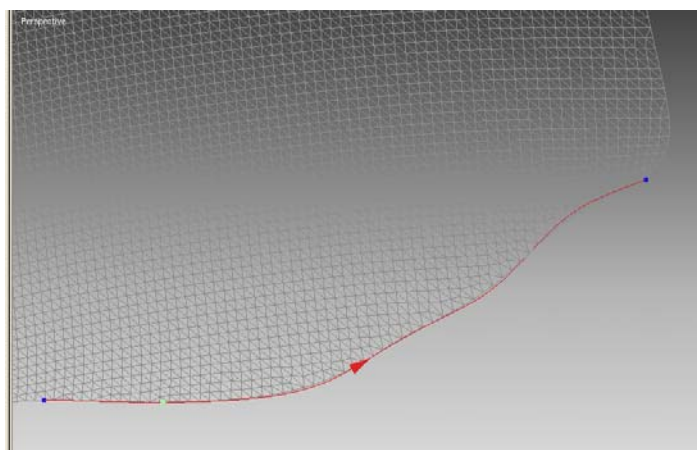


Fig. 69 - Particolare del bordo del frammento

In fig. 70, viene riportato, invece, il frammento "C", con evidenziata la parte di curva del bordo che si sovrappone con quella del frammento "F".



Fig. 70 - Particolare del bordo del frammento "C"

7.3. Salvadanaio.

L'ultima analisi che viene presentata è quella effettuata su un salvadanaio di terracotta, fig. 71.

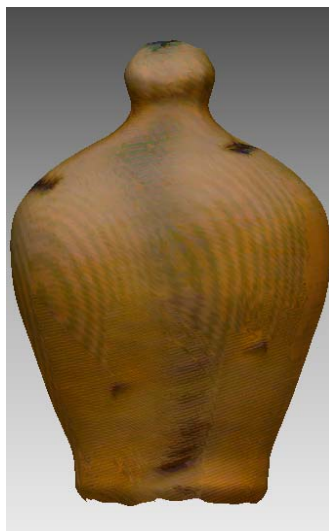


Fig. 71 – Il modello digitale

Anche in questo caso, è stato dapprima acquisito e successivamente rotto. Ciascun frammento è stato acquisito e si è proceduto sia alla determinazione dell'asse di simmetria, sia alla determinazione dei bordi che possono combaciare per una successiva ricostruzione. Infatti, i frammenti dopo la catalogazione, tramite il software ARCHEOANGEL, è stato possibile determinare i bordi comuni dei frammenti presenti nel database.

7.3.1. Frammento “F”.

Dopo la determinazione dell'asse di simmetria, è stato individuato il bordo che comune con un altro frammento presente nel database, fig 72.

Il frammento che viene individuato, tra quelli presenti nel database, come affiancabile al frammento “F”, è il frammento “G”.



Fig. 72 - Frammento “F”

Nella fig. 73 vengono riportati entrambi frammenti con in evidenza la parte di bordo sovrapponibile.

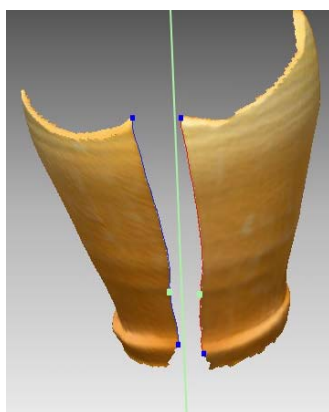


Fig. 73 - Individuazione dei bordi comuni

Mediante un’opportuna rotazione è possibile far sovrapporre i bordi comuni individuati. In questo modo si può ricostruire parte del oggetto, fig. 74.



Fig. 74 - Ricostruzione virtuale

Ovviamente disponendo di tutti i frammenti del reperto, è possibile ricostruirlo interamente in modo virtuale.

8. Pubblicazione sul WEB.

I modelli digitali dei frammenti, delle ricostruzioni virtuali e del vaso intero, possono essere diffusi via internet per gli utenti interessati a questo argomento di ricerca. I benefici di questa tecnica sono evidenti: la possibilità di diffondere la conoscenza di opere d'arte in tutto il mondo. L'utente può interagire con il modello digitale, ad esempio estraendone le grandezze caratteristiche, come ingombri, spessori, ecc. A tale scopo è stato utilizzato il software, freeware, Model Press Publisher che permette di pubblicare nel web i file CAD con un elevato grado di compressione, permettendone una facile trasmissibilità. Il software converte i file in un formato proprio, *isf* o *3df*, non permettendo di risalire al file CAD di origine, in modo da garantire la sua non modificabilità. Il software, inoltre, crea in modo automatico una pagina web, fig. 75, dove l'utente può analizzare il reperto, misurandolo, sezionandolo secondo piani da lui scelti.

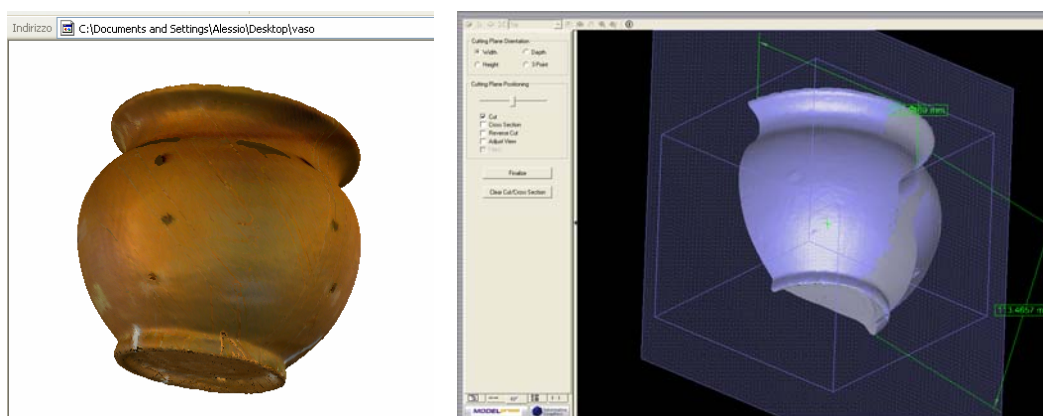


Fig. 75 - Modello digitale con texture per la diffusione sul web

Attualmente la diffusione tramite internet dei modelli digitali dei reperti si sta diffondendo sotto forma del "Virtual Heritage". Infatti, si propongono ambientazioni virtuali, come musei, dove l'utente, da remoto, può collegarsi visitando il museo in un tour virtuale, acquisendo informazioni su i reperti in esso contenuti [10] [11] [12].

9. Considerazioni.

L'applicazione di tecnologie proprie dell'ingegneria, come la reverse engineering, in un settore scientifico completamente estraneo, potrebbe sembrare azzardato e quantomeno sterile dal punto di vista dei risultati attesi. Il caso discusso in questo capitolo, invece, dimostra come si è riusciti a fornire un valido strumento che può diventare di supporto al lavoro degli archeologi, durante la fase di catalogazione e ricostruzione dei reperti.

Le moderne tecnologie dell'ingegneria forniscono strumenti talvolta flessibili, che possono essere utilizzati in settori di ricerca completamente differenti. Questo è il caso della reverse engineering che ha permesso, negli ultimi anni, la ricostruzione in virtuale di parecchi reperti. In alcuni casi si è riusciti a completare il reperto in esame mediante la costruzione di frammenti virtuali, fornendogli l'aspetto originario.

Questa nuova frontiera della ricerca ha permesso così di realizzare veri e propri musei virtuali, accessibili via internet, agli utenti di tutto il mondo.

La riproduzione, quindi, di copie digitali dei manufatti archeologici permette una più ampia diffusione della cultura e della conoscenza.

In questo lavoro si è voluto creare uno strumento di supporto che, dapprima, risolvesse in maniera efficace le problematiche degli archeologi e, poi, facesse anche da tramite nella gestione di apparecchiature specifiche.

Si sono sviluppati degli applicativi che permettono la gestione delle acquisizioni, provenienti da uno scanner 3D, della catalogazione dei frammenti digitalizzati e la relativa estrazione delle informazioni matematiche necessarie per la determinazione dell'asse di simmetria del frammento, necessario ai fini della ricostruzione virtuale.

Tale studio è stato applicato alla categoria di frammenti di vasellame, per cui sono state sviluppate delle routine di calcolo ad hoc, che tengono conto dell'imprecisione dei manufatti e di inevitabili disturbi connessi all'acquisizione.

Il confronto tra le misurazioni sperimentali e quelle in virtuale ha dato risultati soddisfacenti, confortati anche dalle riuscite ricostruzioni virtuali dei reperti.

Bibliografia.

- [1] Leymarie F., Cooper D., Joukowsky M. Sharp, Kimia B., Laidlaw D., Mumford D., Vote E., *New Technology and Software for Archaeologists*, Proceedings of the 28th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Ljubljana, pp. 79-90, 2000.
- [2] Godin G., Beraldin J., Taylor J., Cournoyer L., Rioux M, El-Hakim S., Baribeau R., Blais F., Boulanger P., Domey J., Picard M., *Active Optical 3D Imaging for Heritage Applications*, IEEE Computer Graphics and Applications, 2002
- [3] Cooper David B. et al, *Assembling Virtual Pots from 3D Measurements of their Fragments*, The SHAPE Lab - STITCH project, VAST 2001
- [4] Kampel M., Sablatnig R., Mara H., *Automated documentation system of pottery*, International Cultural Heritage Informatics Meeting, 2001
- [5] Eugenio Pezzuti, Alessio Ubertini, Pier Paolo Valentini,, *Una metodologia per l'analisi e l'archiviazione di reperti archeologici basata sul rilievo mediante scanner laser tridimensionali a non contatto*, XIII ADM-XV INGEGRAF, International Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN, Cassino, June 3th, 2003 Napoli, June 4th and June 6th, 2003 Salerno, June 5th, 2003
- [6] Guy Godin, J.-Angelo Beraldin, John Taylor, Luc Cournoyer, Marc Rioux, Sabry El-Hakim, Réjean Baribeau, François Blais, Pierre Boulanger, Jacques Domey, Michel Picard , *Active Optical 3D Imaging for Heritage Applications*, IEEE Computer Graphics and Applications, Sept/Oct 2002
- [7] Cao Y., Mumford D, *Geometric Structure Estimation of Axially Symmetric Pots from Small Fragments*, Proceedings of the SHAPE Lab. @ SPPRA'02 Signal Processing, Pattern Recognition and Applications IASTED International Conference, 2002
- [8] Halir R., *An Automatic Estimation of the Axis of Rotation of Fragments of archaeological pottery: a multistep approach*, Proceedings of the 7-th WSCG International Conferences in Central Europe, 1999
- [9] Pearson R. K., *Outliers & Anomalous Data: Detection & Treatment, Extract of a seminar*, University of Technology of Tampere, 2002

- [10] James E. Landrum III, Jeffrey T. Clark, Aaron Bergstrom, Brian M. Slator, Richard Frovarp, Ryan Kranitz, and William Perrizo, *The Digital Archive Network for Anthropology and World Heritage (DANA-WH): Current Content and Future Potentials*, The Fifth World Archaeological Congress, 2003.
- [11] Tornincasa Stefano, Vezzetti Enrico, “Virtual archaeology: web 3D collaborative reconstruction”, XIII ADM-XV INGEGRAF *International Conference on TOOLS AND METHODS EVOLUTION IN ENGINEERING DESIGN*, Cassino, 2003
- [12] Lisa Willemse, Douglas Macleod, *Final report on 3D Web Research Network*, 31 March 2004

La descrizione della metodologia e i risultati raggiunti, descritti nelle pagine precedenti, sono stati pubblicati all'interno del libro, conclusivo e del progetto, “Archiviazione e restauro di reperti archeologici mediante tecniche CAD-RP” (Codice ISBN 88-900081-7-2), con il titolo “Una Metodologia per l'analisi e l'archiviazione di reperti archeologici basata sul rilievo mediante scanner laser tridimensionali a non contatto”. Autori: Giampietro Piscopo, Alessio Ubertini, Pier Paolo Valentini, Manuele Milana, Roberto Di Leginio.

CAPITOLO IV

MODELLAZIONE DEL CORPO UMANO

1. Introduzione.

La realtà virtuale, grazie al livello raggiunto, è oggi un valido ed insostituibile ausilio per il progettista. Grazie a tale tecnica, infatti, è possibile non solo riprodurre scenari statici ma anche effettuare analisi dinamiche con simulazioni del movimento dei vari oggetti e soggetti presenti nello scenario stesso. In tale settore particolare importanza vanno sempre più assumendo le tecniche dedicate all'analisi del movimento del corpo umano. I campi di applicazione di tale metodologia sono numerosi e variano dagli studi ergonomici, dedicati all'interazione uomo-ambiente e uomo macchina, alla valutazione delle prestazioni sportive fino ai videogiochi.

L'incremento delle potenze di calcolo dei computer ha permesso, in questi ultimi anni, di realizzare modelli molto sofisticati per la rappresentazione tridimensionale del corpo umano. Tali modelli [1] possono essere utilizzati nella simulazione di operazioni proprie della quotidianità di ogni essere umano, come può essere l'attività sportiva, la guida di un autoveicolo o l'interazione con altre persone.

Nel nostro caso si è voluto creare un modello di manichino virtuale che risultasse adatto alla simulazione e analisi dinamica del movimento, tale da poter essere utilizzato sia per la valutazione delle scelte progettuali in campo ergonomico, sia nello studio dell'interazione tra uomo e veicolo.

2. L'ergonomia nella fase progettuale

E' essenziale che i dati ergonomici destinati a un veicolo o a un prodotto trovino posto dall'inizio alla fine nel processo progettuale [2], ma in nessun momento è più importante che nel concepimento e nei primi stadi di sviluppo del progetto.

Criteri ergonomici di base, come l'adozione di posture corrette ed efficienti per il tipo dei futuri utenti, devono essere adottati in uno dei primissimi passi della progettazione; in seguito ci sarebbero poche possibilità per modifiche senza serie conseguenze economiche.

Tuttavia la progettazione automobilistica si è sempre occupata prevalentemente dello stile e della meccanica. Come conseguenza questi aspetti della progettazione del veicolo precedono tipicamente gli aspetti ergonomici dell'abitacolo, lasciando i responsabili del benessere dell'abitacolo con un compito se non impossibile quanto mai difficile. Per esempio il progettista del sedile è incaricato di assicurare che potenziali acquirenti o utenti del veicolo lo lodino come confortevole quando siedono nell'autosalone o durante un lungo viaggio.

Molti fattori potrebbero impedire questo compito, tra cui:

- i potenziali proprietari e utenti potrebbero non essere stati ben pronosticati per quanto riguarda le dimensioni e proporzioni del corpo e le loro capacità motorie (lo sforzo necessario per attuare i comandi, il range di mobilità delle articolazioni per entrare e uscire, raggiungere i comandi o per girarsi e guardare);
- il progettista dell'abitacolo ha un'influenza piccola sul progetto della zona di guida. Come risultato gli utenti potrebbero soffrire posture dolorose, un disagio persistente e seri problemi di salute, quali l'ernia del disco e danni aggiuntivi durante gli incidenti;
- lo sviluppo della simulazione CAD ha ridotto il numero delle simulazioni tradizionali allestite durante lo sviluppo del veicolo. Queste simulazioni a grandezza naturale sono fatte con lo scopo di visualizzare e stabilire le finalità della produzione.

Tuttavia possono avere il grande beneficio di essere sfruttate in ottica di potenziali occupanti per provare l'abitacolo e la sistemazione lungo tutto lo sviluppo del veicolo. Questa possibilità è ora molto limitata e solitamente si presenta piuttosto avanti nell'iter progettuale.

La qualità della sistemazione per i passeggeri, offerta da un veicolo, è un obbiettivo estremamente importante e determina la percentuale della potenziale popolazione di guidatori che sarà a proprio agio nell'abitacolo, con uno spazio sufficientemente libero attorno al corpo. Inoltre, deve essere assicurato il mantenimento una postura corretta durante la guida. La scelta di un autovettura è infatti influenzata anche dal livello di confort che trasmette al possibile acquirente. Il successo o il fallimento di un veicolo può essere misurato in molti modi, ma la misura più importante per il costruttore è la percentuale di fetta di mercato. Molto spesso le scelte estetiche, come l'altezza e il profilo, possono escludere delle percentuali rilevanti di acquirenti. Diventa importante, quindi, prevedere quanto una decisione presa in fase progettuale, possa influenzare il volume di vendite. Infatti, è molto più costoso attrarre un ulteriore 10-20% di compratori verso un veicolo con un'abitabilità di scarso livello, piuttosto che prevenirne l'esclusione durante la fase di progettazione del veicolo.

La procedura tradizionale, adottata da molti costruttori nello sviluppo di un nuovo veicolo, era piuttosto schematica e può essere descritta in modo semplice come una progettazione **outside-in**. Lo stile dell'esterno della macchina viene al primo posto seguito dall'adattare la meccanica con i volumi determinati dalla linea [3].

Un approccio alternativo per la progettazione di un nuovo veicolo è l' **inside-out** [4]. Questo approccio focalizza l'attenzione sui bisogni degli occupanti del veicolo. Per esempio, le dimensioni, il numero e l'età dei futuri occupanti insieme con i dettagli sulle posizioni loro più consone, gli angoli visivi e l'inviluppo dello spazio da loro raggiungibile, aiuterebbero a definire il volume di cui c'è bisogno all'interno del veicolo, senza dimenticare lo spazio necessario per i bagagli come spesa, attrezzature sportive, sedie a rotelle o animali domestici. I comandi e i display potrebbero essere progettati attorno a queste persone con la conoscenza del range delle posizioni assumibili e della visuale. L'esterno del veicolo dovrebbe quindi necessariamente soddisfare sia le esigenze delle persone che quelle della meccanica.

Gli obiettivi ergonomici devono essere chiari sin dalla fase di progettazione per assicurare una buona abitabilità del veicolo. Gli errori fatti comunemente riguardano il ruolo dell'ergonomia nella fase progettuale.

3. L'ergonomia nell'industria automobilistica

Tradizionalmente, nel processo progettuale di un'automobile la maggior parte dei vincoli ergonomici vengono introdotti e valutati alla fine del processo di design. Alcuni dati molto sui passeggeri vengono utilizzati per valutare i punti critici dell'abitacolo a cui i designer devono conformarsi. Tuttavia un buon numero di fattori sono stati escogitati per migliorare consistentemente questa situazione nel corso degli ultimi anni. La progettazione incentrata sull'utente sta prendendo piede in qualsiasi area della progettazione di un prodotto e la popolazione di acquirenti sta diventando sempre più attenta alle caratteristiche ergonomiche e molto più critica riguardo i prodotti che compra. Fino agli ultimi anni novanta alcune delle maggiori case automobilistiche non annoveravano nelle proprie equipe interne di progettazione degli esperti di ergonomia, ma ora lo fanno. Tuttavia vi è ancora una larga parte dell'industria automobilistica, come case produttrici più piccole o altri fornitori, che non si servono di ergonomisti e la cui conoscenza in campo ergonomico risulta assai limitata. Sempre più pratiche, strumenti e tecniche di tipo ergonomico sono impiegate in una enorme varietà di modi ovunque all'interno dell'industria. In generale risulta esserci una tendenza a muoversi verso un approccio di tipo “**inside- out**”. Molti ergonomisti non sono più associati con il gruppo di progettazione meccanica, ma fanno parte dello studio di design, facendo riferimento al responsabile del design. Molte grandi case costruttrici impiegano ergonomisti qualificati in squadre che hanno dai 2 ai 5 elementi. In quelle grandi case, dove non ci sono ergonomisti, la responsabilità in merito ricade ancora sugli ingegneri e l'accuratezza con cui viene presa in considerazione l'abitabilità del veicolo dipende dall'abilità dell'ingegnere. Nelle case più piccole è il designer che si prende la responsabilità in merito all'ergonomia e di nuovo il risultato dipende dall'esperienza del singolo. Quando si lavora per una grande casa, alcune delle specifiche ergonomiche potrebbero esser date dalla casa, ma, nel caso di industrie più piccole, la responsabilità potrebbe ricadere interamente sul progettista. In quasi tutti i casi dove sono presenti esperti in ergonomia loro sono coinvolti nelle fasi di pre-progetto; ad esempio hanno un'influenza sulla definizione del veicolo e l'ordine di importanza delle sue caratteristiche prima che il programma di progettazione cominci. In alternativa sono incorporati all'interno del lavoro di design, particolarmente nelle produzioni che hanno la casa madre all'estero e che compie il pre-progetto nella sede principale. Una volta che il progetto comincia, i già citati obbiettivi in merito all'ergonomia vanno affrontati. Fallire nell'ottenere un

obbiettivo implica l'arresto del programma di sviluppo. Dove gli ergonomisti sono diventati parte ufficiale del processo di progettazione, essi sono responsabili per tutti gli aspetti inerenti l'ergonomia del veicolo e dove lavorano in una equipe separata (come ad esempio per i sedili) devono comunicare con il gruppo di progetto e sviluppare gli obiettivi ergonomici ed evidenziare le situazioni che porterebbero a gravi errori ergonomici. In alcuni casi hanno anche il ruolo di insegnare l'ergonomia ad altre discipline coinvolte nel progetto. In tutti i casi hanno influenza sul design dei display, dei comandi, sulle operazioni logiche dei display e dei comandi, nei rivestimenti, nei sedili, nell'accesso e l'uscita dall'abitacolo, e nell'accesso all'area bagagli. Quando vengono effettuate delle scelte su parametri che influenzano l'ergonomia, il parere dell'ergonomista è necessario per comprendere l'estensione dell'impatto di una singola scelta. D'altra parte, dove non lavorano ergonomisti, non ci sono procedure ufficiali per valutare gli aspetti ergonomici e la comprensione dell'influenza di una scelta nei confronti dell'abitabilità e della sicurezza può essere molto ridotta. Dove i designer sono responsabili in merito all'ergonomia, molto spesso si possono riscontrare delle errate valutazioni. Si utilizzano tabelle di dati e sistemi CAD. Tutti si avvalgono di collaudi di utilizzo per valutare il loro lavoro; in alcuni casi utilizzando solo persone interne allo staff, in altri casi anche persone comuni. Mantengono dei buoni collegamenti con le università e includono nei progetti di ricerca gli esperti universitari. Dove non ci sono ergonomisti, i dati e le informazioni utilizzati tendono ad essere estemporanei e i collaudi sono fatti raramente. In passato gli esperti di questo settore dovettero trovare il modo di comunicare le informazioni ergonomiche a chi avesse bisogno di usarle. In generale l'informazione ergonomica viene trasmessa attraverso un numero, che di per sé rende una presentazione molto asciutta. Questo modo potrebbe essere appropriato per ergonomisti ed ingegneri, ma è piuttosto evidente che non lo sia per la maggior parte dei designer. I designer sono abituati a comunicare in modo visuale e in ogni caso in cui gli ergonomisti si sono trovati in contatto con loro hanno dovuto imparare a comunicare in questo modo: traducendo il dato numerico in un dato visuale; producendo dei file CAD delle zone interessate, che possono essere così direttamente introdotti nei sistemi utilizzati dai designer; facendo dei segni direttamente su modelli della vettura per evidenziare le raccomandazioni ai designer; usando strumenti multimediali che sono cosa comune nelle presentazioni e nella esplorazione delle idee dei designer.

3.1. Gli standard e il CAD

Esistono delle normative e degli standard di riferimento per alcune aree dell'ergonomia pertinenti alla progettazione degli autoveicoli. A questi standard sono associate delle procedure sviluppate nell'ambito della ricerca in questo campo di applicazione. La Society of Automotive Engineers (SAE) ha una particolare attività nel campo dell'emissione di standard ergonomici. Alcune di questi standard fanno parte della odierna legislazione in ambito della progettazione automobilistica.

Nell'affrontare i problemi connessi alla progettazione degli abitacoli, il progettista deve considerare dei parametri caratteristici come, ad esempio, il SAE J826 H-point (ISO6549).

Attualmente vengono sviluppati tool che contengono informazioni sulla normativa. Un esempio è il software Ramsis [5] che consente la modellazione sia degli occupanti della vettura sia dell'abitacolo stesso, in accordo con le normative vigenti, fig. 1.

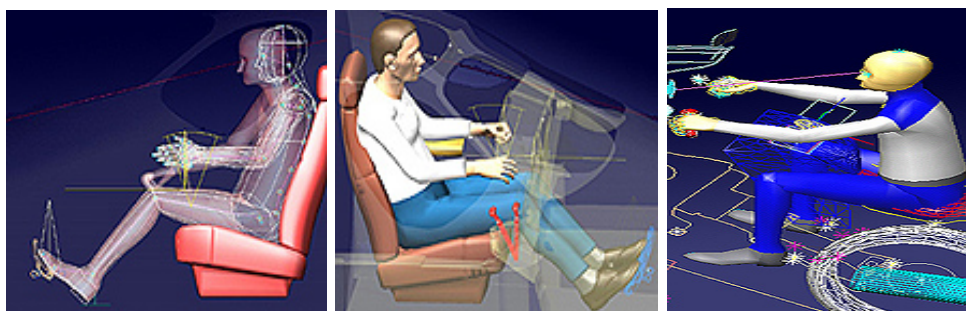


Fig. 1 – Il software Ramsis

Questo programma consente di simulare la corretta postura degli occupanti, studi e analisi del comportamento del pilota durante la guida e analisi di visibilità all'interno dell'abitacolo. E' inoltre dotato di un tool che consente l'utilizzo delle procedure sviluppate in accordo con la SAE J826.

E' inoltre dotato di un database antropometrico che consente la generazione di un manichino rispetto ai novanta modelli presenti.

3.2. L'ergonomia e la realtà virtuale

L'utilizzo di modelli virtuali di manichini e abitacoli è particolarmente diffuso nell'industria automobilistica attuale, specialmente nello studio ergonomico e nella

progettazione di abitacoli. Non meno importanti sono gli studi di visibilità per un maggior sicurezza degli occupanti. Tali studi vengono fatti per differenti tipologie di soggetti, simulandone il comportamento alla guida e valutando le scelte progettuali.

L'utilizzo della Realtà Virtuale porta dei notevoli benefici nell'ottimizzazione dell'ergonomia del veicolo. I benefici che si ottengono sono:

- un aumento dell'efficienza nel processo di sviluppo del veicolo, tramite la ovvia riduzione di prototipi, un minor costo e la possibilità di realizzare test già nella fase preliminare della progettazione;
- un aumento della qualità del veicolo data dalla ripetibilità dei test senza aumento dei costi, lo studio e la valutazione degli aspetti ergonomici e una maggiore flessibilità dei test;
- un allargamento dei possibili acquirenti della vettura perché testata su un ampia tipologia di percentili, considerando i più anziani e i portatori di handicap

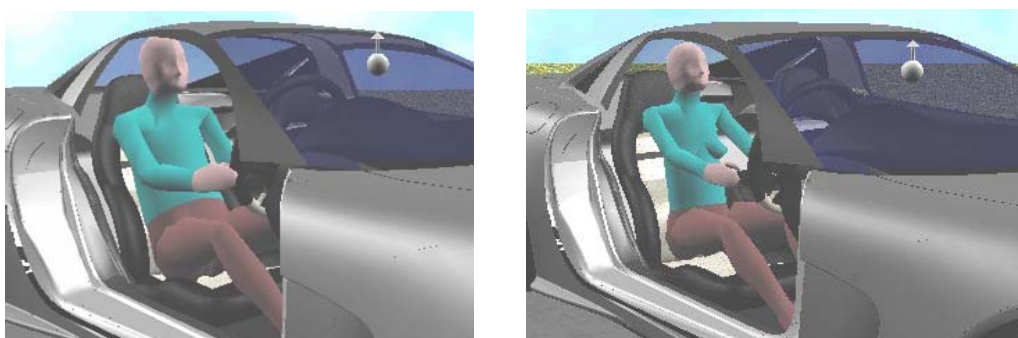


Fig. 2 – Dummy con caratteristiche corporee differenti

Negli ultimi trent'anni, l'industria automobilistica ha riconosciuto una rilevante importanza ad una posizione di guida confortevole, stabilendo così la necessità di un approccio ergonomico al problema [6]. Così negli ultimi anni si sono creati numerosi database di misure antropometriche per differenziare i modelli digitali di dummy da utilizzare nelle simulazioni di visibilità e raggiungibilità dei comandi, fig. 2..

E' divenuto importante anche lo scenario in cui si vanno ad utilizzare tali modelli, fig.3.



Fig. 3 – Rappresentazione degli scenari

I modelli, dell'abitacolo e del manichino, permettono di simulare le differenti condizioni di visibilità dell'interno dell'abitacolo, la percezione che il pilota ha dall'interno della vettura e dello scenario in cui è immerso. Questo risulta fondamentale nella valutazione degli angoli bui che si possono avere per la presenza, ad esempio, di montanti durante le manovre oppure, come mostrato in fig. 3, quando ci si accinge ad attraversare un incrocio.

Attualmente vengono utilizzati sistemi immersivi [7] di Realtà Virtuale che consentono all'utente, di simulare in modo interattivo il comportamento.

L'utente è posto su di un simulatore della posizione di guida, fig. 4, che è connesso, tramite dei sensori CyberGlove e un apposito software, a un visualizzatore.

L'utente così si vedrà all'interno di una autovettura, può guidarla avendo la percezione in tempo reale del cambio di paesaggio. Inoltre, può "navigare" all'interno dell'abitacolo come se questo esistesse realmente.



Fig. 4 – Il simulatore del posto di guida

In fig. 5 vengono mostrate alcuni *snapshot* della simulazione che fanno capire quali siano le immagini che percepisce, sia verso l'interno della macchina, sia verso l'esterno.



Fig. 5 – L'ambiente virtuale

Per creare una sensazione più realistica della condizione di guida sono state costruite, in alcuni casi, delle vere e proprie cabine, col posto guida, lo sterzo e i pedali, tramite i quali si poteva controllare il mezzo. Queste cabine vengono posizionate di fronte a degli schermi su cui sono proiettate delle immagini tridimensionali, che riproducono condizioni di manovra reali.

4. I manichini virtuali.

La tendenza a utilizzare manichini virtuali per studi ergonomici, valutazioni oggettive delle limitazioni motorie di alcuni soggetti e per l'impiego nella simulazione di operazioni difficoltose, ci ha spinti a mettere a punto un software in grado di fornire modelli digitali del corpo umano tali da soddisfare alcune di queste caratteristiche. Sul mercato oggi sono presenti diversi software per dotati di modelli tridimensionali del corpo umano con notevoli potenzialità; fra tutti basti citare il programma "Jack"[8] [9], fig. 6, di realizzare complesse simulazioni ed analisi.



Fig. 6 – Esempio di simulazioni del software *Jack*

Il nostro obiettivo è stato quello di realizzare un generatore di modelli digitali del corpo umano che rispondesse a determinati requisiti.

In particolare i requisiti che abbiamo richiesto al nostro progetto sono stati:

- la possibilità di rappresentazione di un'ampia tipologia di persone
- modello suddiviso in segmenti corporei con le relative articolazioni
- possibilità di utilizzo nella valutazione dello spazio di lavoro, es. abitacoli di autovetture
- possibilità di riproduzione del movimento tramite l'input di dati del movimento rilevati tramite tecniche di *motion capture*
- fornire un applicativo di tipo *open*
- interfaccia del software di tipo *user friendly*

Nei successivi paragrafi vengono spiegate e approfondite le caratteristiche dell'applicativo sviluppato.

4.1. Il software HuMAn (Human Motion Analysis).

L'obiettivo iniziale è stato quello di sviluppare un modello 3D del corpo umano, personalizzabile con i dati antropometrici del soggetto e utilizzabile con diversi software

di simulazione. Per raggiungere tale obiettivo si è deciso di affinare la modellazione di base fornita dal software Poser4 [10], che consente creare modelli altamente dettagliati del corpo umano da utilizzarsi nella *computer graphic*, fig. 7.

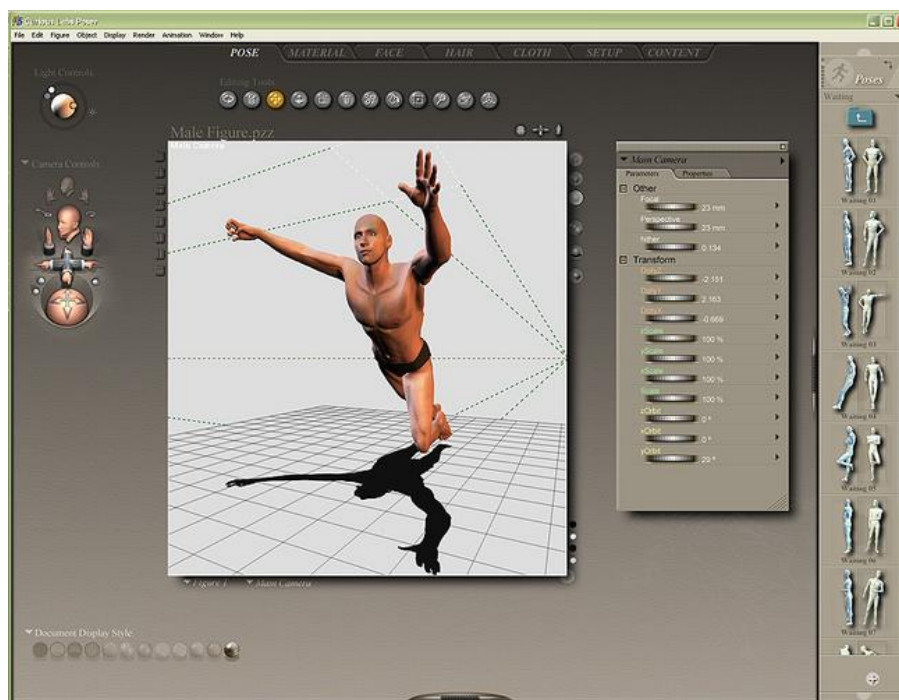


Fig. 7 – Il software Poser

Ovviamente, non si è scelto di realizzare il nostro progetto tutto internamente al Poser4, essendo quest'ultimo un software essenzialmente destinato alla grafica e non essendo dotato di strumenti adeguati al raggiungimento del nostro scopo.

D'altro canto, però, questo software permette all'utente, attraverso alcune librerie in esso implementate, di scegliere la tipologia di figura da generare (uomo, donna o bambino) e di assegnare al soggetto posture differenti. Tali caratteristiche lo hanno reso estremamente utile in fase di pre-processing.

La geometria del modello del corpo umano è quindi fornita dal Poser4, sottoforma di mesh. Questa geometria, seppur suddivisa nei principali segmenti corporei, si presenta come uno shell e non può essere utilizzata direttamente da un software di analisi dinamica. Infatti, ciascun segmento non racchiude un volume finito di spazio ed è quindi impossibile assegnargli proprietà di massa. E' stato quindi necessario operare il completamento della geometria dei singoli segmenti generando le rispettive superfici di

chiusura. Il modello finale si presenta costituito da 54 segmenti corporei a mesh chiusa e correttamente vincolati.

Il programma è stato sviluppato in Visual Basic per creare un collegamento in OLE Automation, con il software post-processor, cioè Working Model. Questo protocollo è comune ai software della Microsoft e permette di utilizzare certe caratteristiche “nascoste” del software direttamente dall’applicazione in Visual Basic che si sta realizzando. Il Poser4, invece, non supporta questa procedura e quindi ci si è limitati ad automatizzarne l’apertura tramite l’utilizzo del protocollo DDE.

Il software opera secondo i seguenti passi fondamentali:

- *Acquisizione dati geometria (Files Poser 4).*
- *Controllo e ricostruzione della gerarchia dei vincoli del modello.*
- *Scalatura del modello in funzione delle caratteristiche antropometriche del soggetto e riposizionamento dei vincoli.*
- *Ricerca dei nodi di bordo dei segmenti corporei e chiusura delle mesh del Modello.*
- *Esportazione del Modello nel formato proprietario Working Model (tramite il protocollo OLE Automation).*

Come evidenziato nella fig. 8, il software ha possibilità di generare manichini standard nelle tipologie classiche uomo, donna, ragazzo, bambino. Con una finestra successiva, fig. 8 a destra, è possibile variare le dimensioni di ogni singolo arto sulla base dei dati antropometrici rilevati sul soggetto. Va sottolineato che le modifiche effettuate sono visibili in “real time” direttamente nella finestra di Working Model. Si ha così la possibilità di verificare in tempo reale la correttezza delle modifiche apportate.

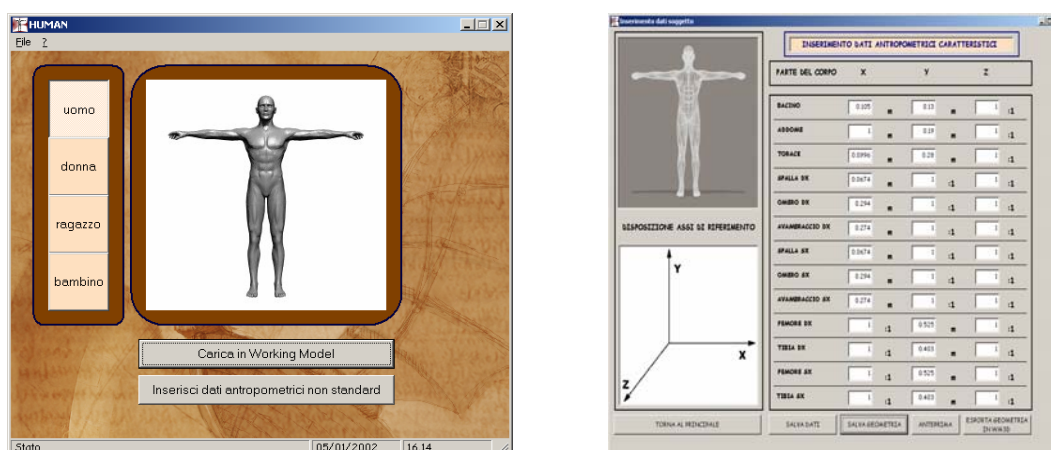


Fig. 8 – Finestre grafiche del software HuMAN

Il modello esportato è molto dettagliato ed è costituito da 54 segmenti corporei a mesh chiusa e correttamente vincolati.

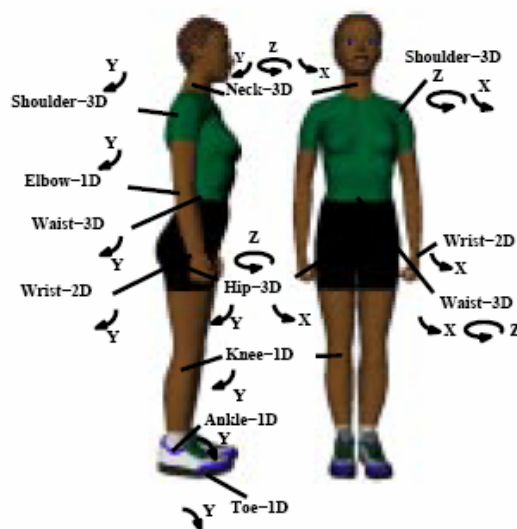


Fig. 9 – Articolabilità del manichino

In fig. 9 è riportato il sistema di articolazioni del manichino realizzato. Sulle singole articolazioni è possibile agire in modo da modificarne i limiti di movimento in modo da poter rappresentare anche soggetti con limitate capacità motorie.

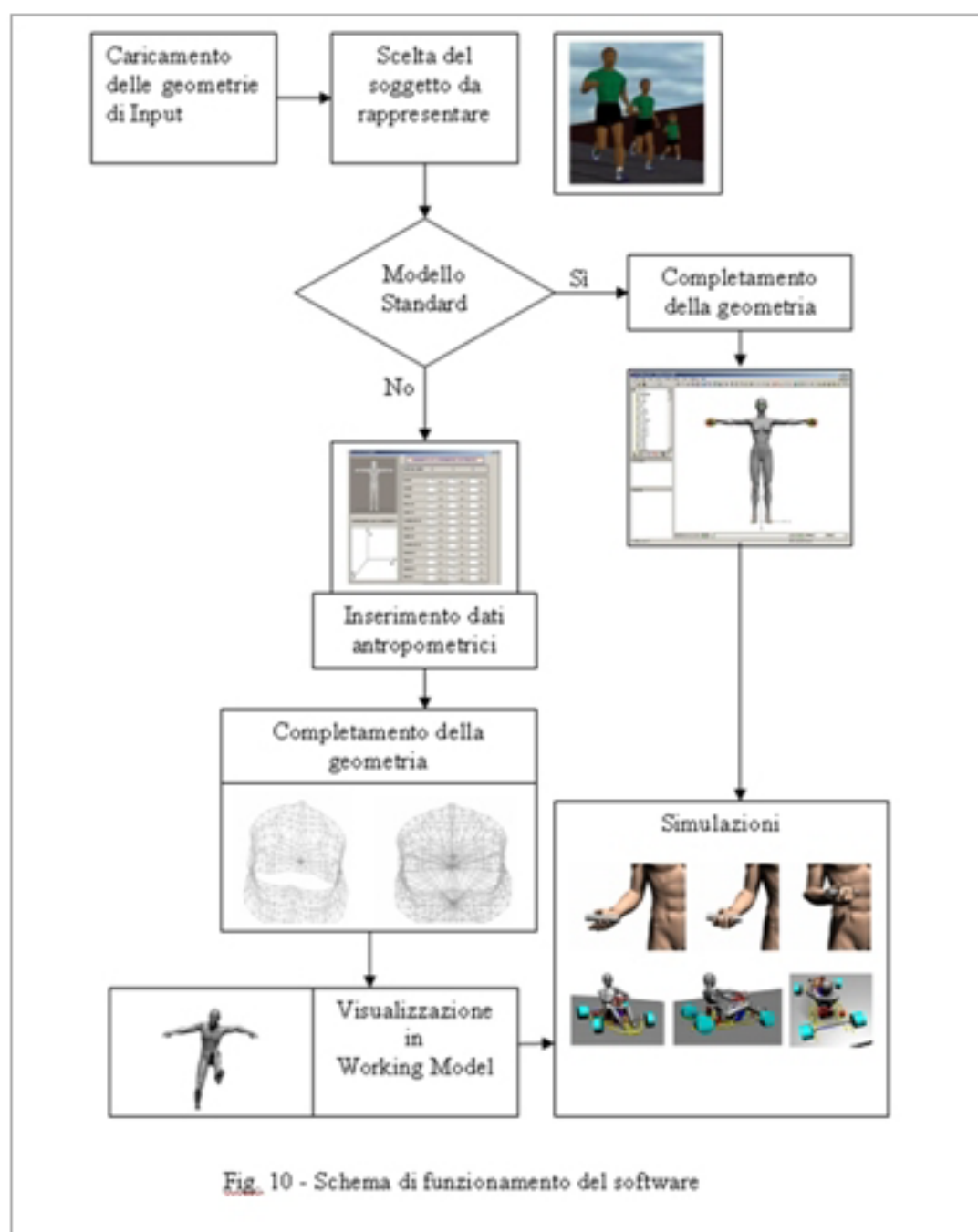


Fig. 10 - Schema di funzionamento del software

4.2. L'inserimento dei dati antropometrici.

Nel software HuMAN [11] è stata prevista la possibilità di inserimento delle misure antropometriche del soggetto di cui si vuole riprodurre il manichino in virtuale, fig. 10.

L'utente può inserire i dati attraverso una finestra grafica del software. Infatti, per ogni singolo segmento corporeo è possibile inserirne la misura caratteristica sia in modo manuale che in modo automatico.

L'utente, dopo aver prelevato le misure antropometriche del soggetto con le consuete modalità di misurazione [12], può inserire i valori misurati all'interno del form. Tali valori vengono registrati in opportuni vettori di scalatura corrispondenti ai segmenti interessati.

A questo punto l'utente, premendo il tasto "Anteprima", ha realizzato il modello, non ancora solido, del manichino. Questa modalità è stata prevista in modo da rendere possibile la verifica della correttezza dei dati inseriti da parte dell'utente.

PARTE DEL CORPO	X	Y	Z
BACINO	0.105 m	0.13 m	1 :1
ADDOME	1 m	0.19 m	1 :1
TORACE	0.0996 m	0.28 m	1 :1
SPALLA DX	0.0674 m	1 :1	1 :1
OMERO DX	0.294 m	1 :1	1 :1
AVAMBRACCIO DX	0.274 m	1 :1	1 :1
SPALLA SX	0.0674 m	1 :1	1 :1
OMERO SX	0.294 m	1 :1	1 :1
AVAMBRACCIO SX	0.274 m	1 :1	1 :1
FEMORE DX	1 :1	0.525 m	1 :1
TIBIA DX	1 :1	0.403 m	1 :1
FEMORE SX	1 :1	0.525 m	1 :1
TIBIA SX	1 :1	0.403 m	1 :1

Fig. 11 – Form per l'introduzione delle misure antropometriche

Se quest'ultimo non è soddisfatto del modello realizzato può tornare indietro e controllare l'inserimento delle misure, apportando eventuali modifiche.

Se non vi sono modifiche da fare, può avviare la generazione del modello solido all'interno di Working Model.

La scalatura del modello avviene tramite la modifica di un file di testo. Infatti, viene aperto in lettura un file del Poser contenente le informazioni sulle misure del manichino. Il file viene modificato con i nuovi valori, che corrispondono ad una appropriata scalatura rispetto al modello standard. In questo le successive routine di acquisizione della geometria leggeranno il file modificato e creeranno il modello di manichino corrispondente a quello desiderato.

Come si può vedere dalla fig. 11, ciascun segmento corporeo può essere scalato secondo le tre direzioni, introducendo valori del tutto arbitrari, permettendo così all'utente di poter rappresentare un'ampia categoria di soggetti.

Sempre nella stessa finestra grafica è rappresentata la disposizione del sistema di riferimento adottato.

I dati del soggetto misurato possono essere salvati all'interno di un database e quindi successivamente richiamati.

4.3. Inserimento dati antropometrici mediante sistema di misura.

Oltre che manualmente, l'introduzione può avvenire mediante l'utilizzo di un sistema di acquisizione sviluppato all'interno della Cattedra di Disegno di Macchine.

Il sistema di misura realizzato [13], fig. 12, è costituito da un braccio meccanico antropomorfo corredato da un software per la gestione sia delle misure effettuate sia del database di soggetti misurati. Il braccio di misura è costituito da segmenti rigidi chiamati link, di forma tubolare, collegati tra loro da giunti di rotazione. Il misuratore si presenta in forma compatta e con un peso limitato adatto per la movimentazione manuale. L'operatore, infatti, può muovere il braccio di misura fino a portare a contatto l'end-effector con i punti di repere del soggetto da misurare. All'interno di ciascun giunto del braccio meccanico sono montati degli encoder rotazionali che permettono la ricostruzione della posizione assunta dai vari segmenti del braccio durante la misurazione. Il segnale proveniente dagli encoder è trasmesso ad una scheda di acquisizione montata su un PC. Tramite il software di gestione viene

ricostruita la catena cinematica del sistema di misura meccanico, e di conseguenza, vengono identificate le coordinate spaziali dell'end-effector e quindi quelle del punto di repere. Ogni singola misurazione è gestibile via software. Questo ultimo, infatti, è stato pensato in modo da poter guidare l'operatore nelle singole operazioni, catalogate seguendo la normativa vigente.

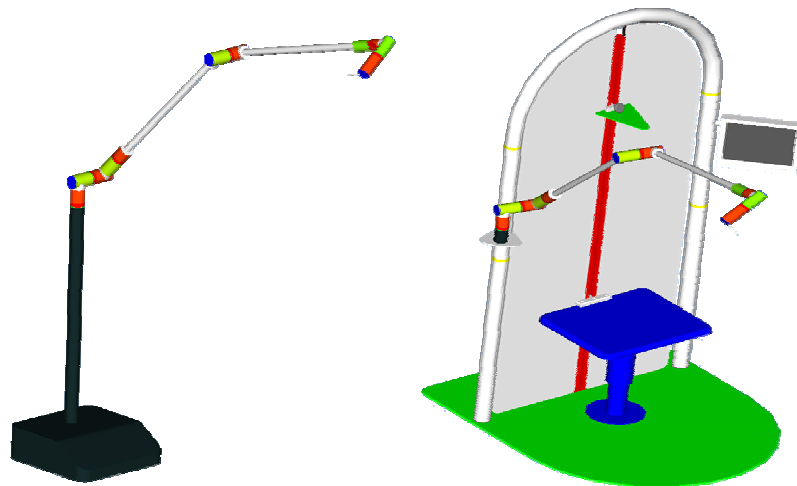


Fig. 12 - Il modello CAD del braccio antropomorfo e della stazione di misura

Il software, sviluppato a corredo della strumentazione di misura, permette l'archiviazione delle misure antropometriche registrandole in un apposito record corrispondente al soggetto misurato.

Il software è stato sviluppato seguendo la normativa vigente sulle misurazioni antropometriche, UNI EN ISO 7250.

Le misure possono essere esportate, ad esempio, sotto forma di file di testo in modo da poter essere lette dall'applicativo HuMAn, consentendo la generazione del modello digitale del soggetto misurato. Infatti, le misure vengono lette in modo automatico dal software e associate ai vettori di riscalatura della geometria standard fornita dal Poser.

4.4. Riproduzione del movimento.

L'analisi oggettiva del movimento, fig. 13, e la sua riproduzione è stato uno degli scopi che hanno condotto alla realizzazione di tale applicativo.

A tal proposito si è reso possibile l'interfacciamento diretto con sistemi di *motion capture*, [14] [15] [16]. Infatti, è stata creata una routine in grado di leggere i file provenienti da questo tipo di strumentazione e in grado di associare ai dati da essa provenienti, un formato direttamente sfruttabile dal software di post-processor, Working Model.



Fig. 13 – Riproduzione del movimento umano

Le tecniche di *motion capture* prevedono la “cattura” della traiettoria di punti notevoli, markers, posti sul soggetto in movimento. L'acquisizione di queste traiettorie, e quindi delle coordinate, avviene tramite telecamere di campionamento o mediante sensori posti sul soggetto in movimento, fig 14.

Le coordinate spaziali dei markers vengono organizzate nelle tabelle rispetto alla variabile tempo. Queste tabelle di moto possono essere associate, tramite il comando “Prescribed Motion”, ai punti corrispondenti sul manichino virtuale. In questo modo si impone che questi punti associati ai segmenti corporei si muovano seguendo la traiettoria rilevata.

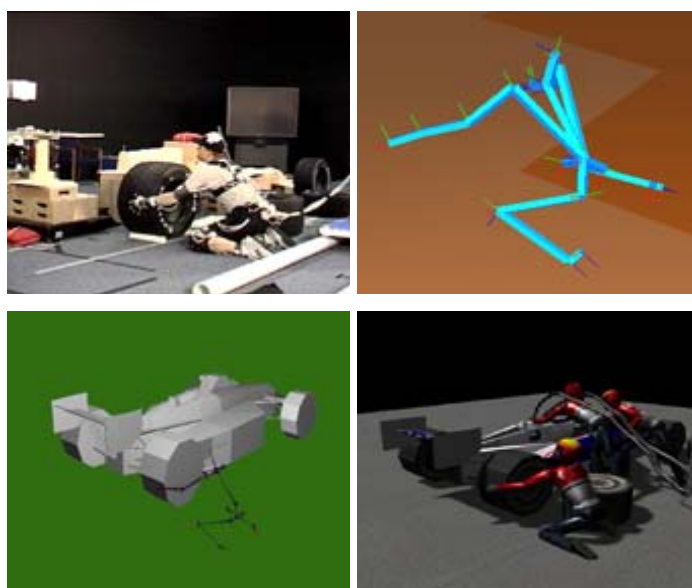


Fig. 14 – Acquisizione del movimento e riproduzione in virtuale

Prelevando quindi le traiettorie dei markers posti sul soggetto, si riesce a riprodurre in virtuale il movimento, in un ambiente computazionale che permette l'analisi dei carichi agenti sulle articolazioni e l'estrazione dei parametri di interesse.

5. La modellazione dell'abitacolo.

Il software è uno strumento applicativo per il sistema CAD Mechanical Desktop, in grado di generare un modello tridimensionale dell'abitacolo di un'autovettura completamente parametrico.

Si è proceduto nello sviluppo del programma, mirando alla creazione di uno strumento che integri la modellazione CAD con le problematiche ergonomiche inerenti alla progettazione di abitacoli.

Le procedure messe a disposizione dal programma consentono di modificare le caratteristiche dell'abitacolo per renderle adatte a quelle del pilota.

Il programma offre immediate possibilità come generare un archivio degli abitacoli presenti in commercio e associare il modello di abitacolo ottenuto alle caratteristiche antropometriche dei piloti. Il modello prodotto dal programma può inoltre essere utilizzato per simulazioni nella valutazione della visibilità offerta dall'abitacolo al pilota e studi di raggiungibilità dei comandi.

Particolare attenzione è stata rivolta nella realizzazione di un'interfaccia user-friendly affinché il software possa essere utilizzato da diverse figure professionali con massima efficacia.

Il software, sviluppato mediante il linguaggio di programmazione Visual Basic, può essere facilmente messo a punto per far fronte a specifiche problematiche, come la sistemazione di piloti portatori di handicap all'interno dell'abitacolo, potendo essere un valido ausilio nella scelta della vettura che meglio si presta ad adattarsi alle esigenze individuali.

5.1. Le caratteristiche del tool.

Dalla schermata iniziale del programma è possibile aprire il file dell'abitacolo che verrà costruito secondo le specifiche indicazioni introdotte dall'utente. L'immagine mostrata in apertura del programma è una vista del modello generato dal software, fig. 15. Per tutti gli elementi dell'abitacolo rappresentato è possibile variare la posizione o le dimensioni. Per quanto riguarda la possibilità di variazioni di forma, il sedile permette una dettagliata personalizzazione supportata anche da una specifica procedura guidata all'interno del wizard. Per una maggior comprensione da parte dell'utente, in ogni form è stata utilizzata come immagine di sfondo quella corrispondente all'abitacolo con i relativi elementi modificabili.



Fig. 15 – Form del software

L'esecuzione del comando Apri fa comparire una lista di variabili nella quale sono specificati il nome ed il valore di ognuna delle variabili di progetto. Una volta concluso il caricamento di esse il programma mostra un messaggio di conferma del avvenuto caricamento. In pratica, il software carica il modello di default dell'abitacolo sul quale l'utente potrà apportare delle modifiche.

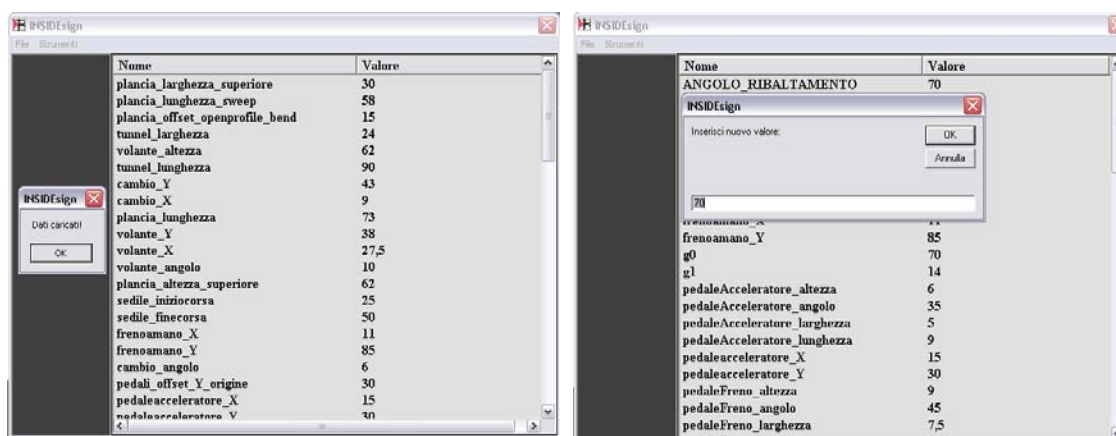


Fig. 16 – I parametri del modello

L'introduzione dei valori dei parametri che governano il modello può essere fatta seguendo la lista di fig. 16, ovvero editando ogni singola voce. E' stato comunque previsto un accesso più facile tramite l'utilizzo di un percorso guidato, wizard, dove accanto a ciascun elemento è stato posizionato un tasto per editare il valore necessario alla costruzione o alla modifica del pezzo.

Il software permette l'accesso a sezioni differenti: abitacolo, sedile e pilota.

In questo modo è possibile ottenere un elevato grado di personalizzazione del modello digitale.

5.2. L'abitacolo.

Questa procedura è formata da tre finestre consecutive. Su ogni finestra sono presenti il tasto Avanti e il tasto Indietro per consentire la navigazione all'interno della procedura. Le illustrazioni presentano delle quote con delle caselle che contengono il valore delle stesse.

Come già detto il software carica i valori delle variabili del modello di default. Ogni volta che si clicca su una casella, che contiene il valore della dimensione a cui è riferita, appare una finestra di dialogo che permette di introdurre il valore desiderato.

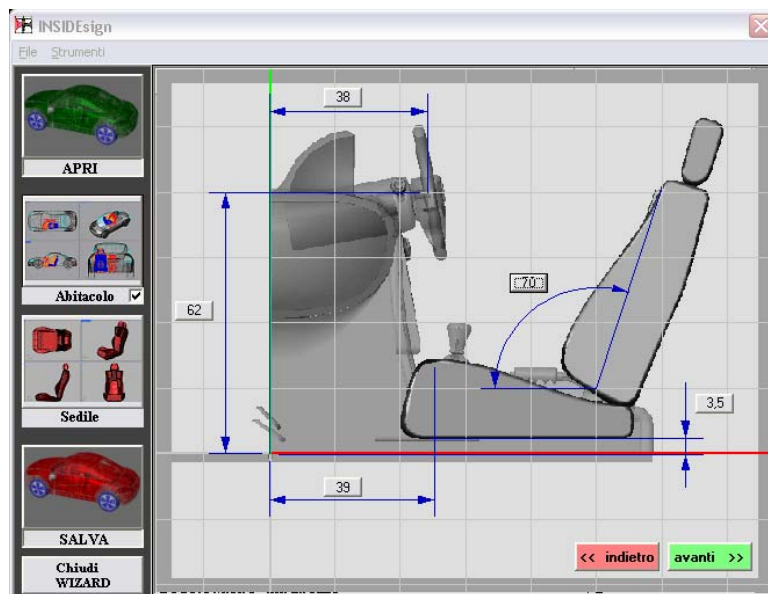


Fig. 17 – Il wizard per l'introduzione dei parametri

La prima finestra, fig. 17, contiene le seguenti variabili:

- volante_X: distanza sull'asse X del volante
- volante_altezza: altezza dal pianale
- sedile_iniziacorsa: distanza del sedile lungo X dal fondo dell'abitacolo
- sedile_altezza: altezza dal pianale
- ANGOLO_RIBALTAMENTO: angolo di apertura tra schienale e sedile

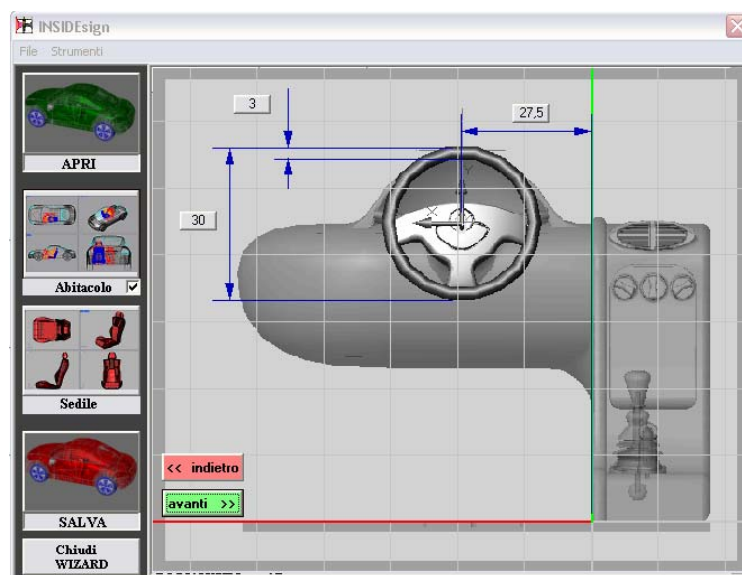


Fig. 18 – Posizionamento e modellazione del volante

Nella seconda schermata, fig. 18, si definiscono le grandezze necessarie alla realizzazione del volante:

- volante_Y : posizione del volante sull'asse y
- volante_raggio: raggio del volante
- volante_raggio_impugnatura: raggio dell'impugnatura

Gli assi, colorati di verde e di rosso, descrivono una terna cartesiana con origine nel punto comune alle due viste. Rispetto a questo riferimento sono valutate le dimensioni delle grandezze controllate. L'adozione di questa terna ha permesso una facilitazione nella modellazione tridimensionale dell'abitacolo. Infine, nella fig. 19, viene presentato il form che riguarda il posizionamento del cambio e del freno a mano nel tunnel centrale.

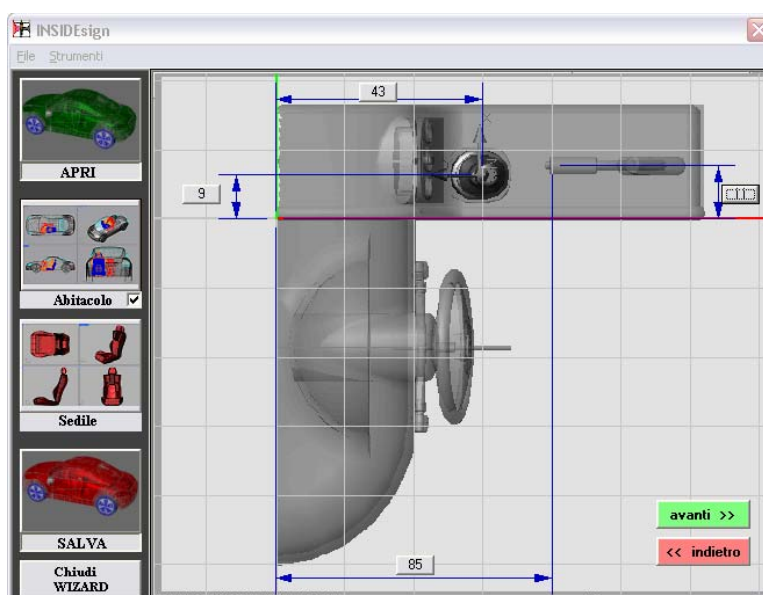


Fig. 19 – posizionamento freno a mano e cambio

L'introduzione dei nuovi parametri da parte dell'utente, determina la generazione di un nuovo modello CAD dell'abitacolo. Infatti, con l'aggiornamento delle misure il software disegnerà in maniera automatica in Mechanical Desktop il modello di abitacolo con le caratteristiche desiderate, fig. 20.

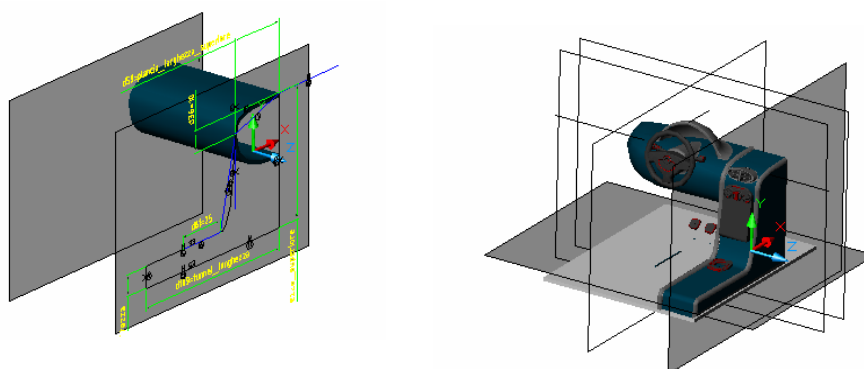


Fig. 20 – Modellazione parametrica dell'abitacolo

5.3. Il sedile.

Anche per quanto riguarda il sedile è stato prevista l'opportunità di personalizzarlo ovvero di realizzarlo secondo le proprie esigenze. E' possibile infatti, come fatto in precedenza, inserire tramite il form relativo gli ingombri del sedile ottenendone il modello corrispondente nell'ambiente direttamente in Mechanical Desktop.

Le tre parti che compongono il sedile sono personalizzabili sia nella forma che nella dimensione per permettere al posto guida di ospitare il generico pilota, offrendo la postura corretta.

Per ogni parte è prevista la possibilità di variare sia le dimensioni che le forme degli appoggi e dei cuscini. Questo permette di passare da una configurazione di massimo comfort di marcia ad una tipicamente sportiva ed avvolgente e di poter adattare il sedile secondo le caratteristiche specifiche di un generico passeggero. Dal form, di introduzione delle misure, fig. 21, risulta chiara la differenziazione degli elementi su cui si andrà ad agire.

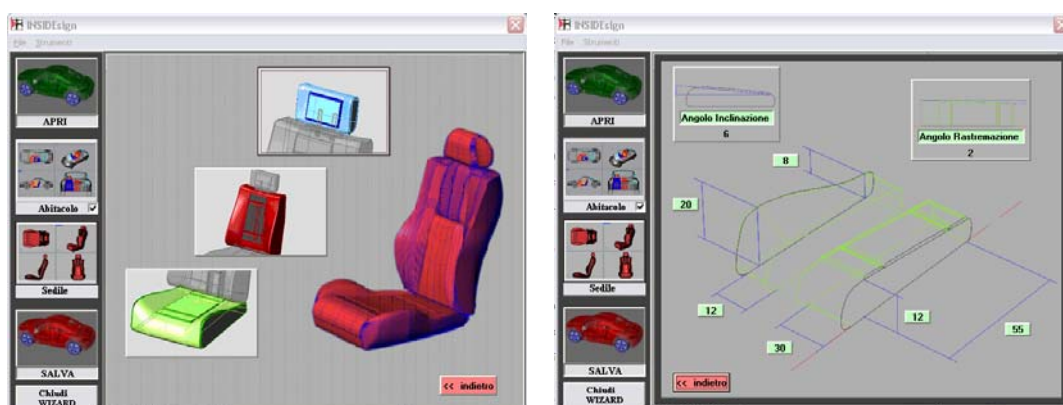


Fig. 21 – Form per la costruzione del modello del sedile

Viene di seguito riportato l'elenco delle variabili regolano la modellazione del sedile:

- sedile_inclinazione
- sedile_rastremazione
- sedile_spessore_post_cuscino
- sedile_spessore_ant_cuscino
- sedile_larghezza_cuscino
- sedile_larghezza_appoggio
- sedile_spessore_anteriore
- sedile_lunghezza

Analogamente si è proceduto per la realizzazione degli altri due elementi del sedile, ovvero, lo schienale e il poggiatesta, fig. 22.

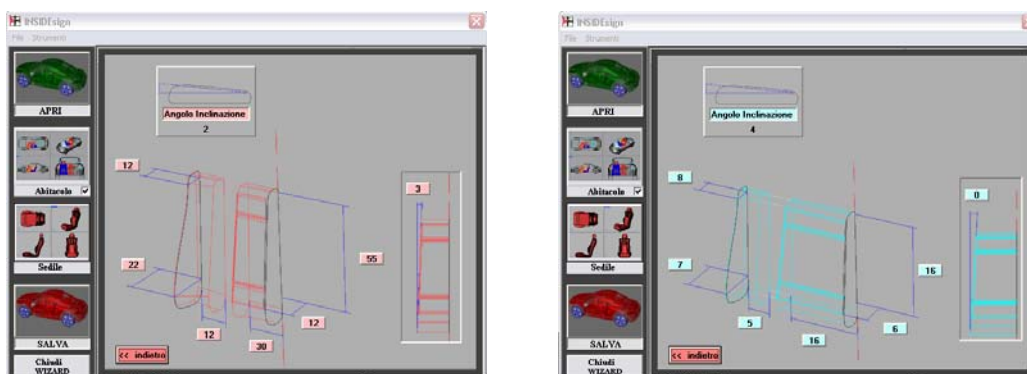


Fig. 22 – Modellazione dello schienale

5.4 Il pilota.

Il software è stato sviluppato prevedendo l'inserimento all'interno dell'abitacolo di un modello tridimensionale di manichino.

Analogamente a quanto esposto finora è possibile inserire, attraverso il form, le dimensioni caratteristiche del soggetto, vedi fig. 23.

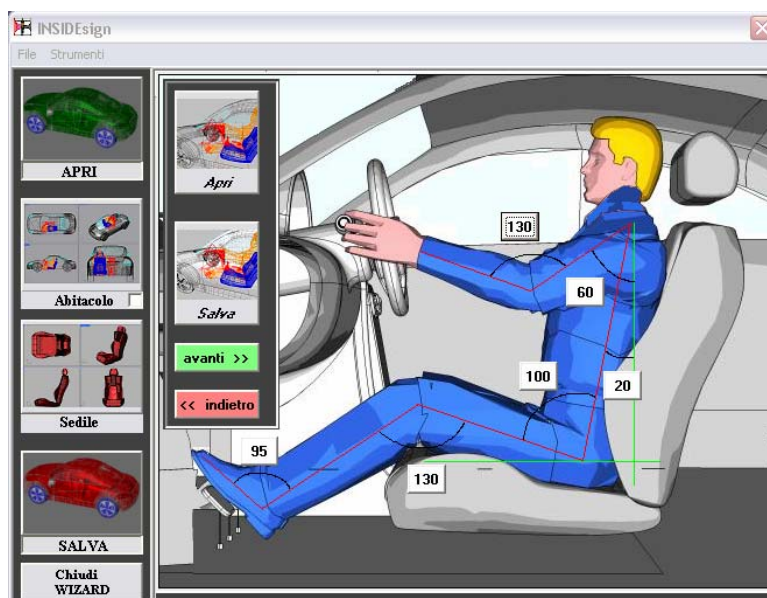


Fig. 23- Form per l'inserimento dei dati caratteristici del manichino

Le lunghezze segmentali che si possono introdurre, come mostrato nella figura precedente, sono le lunghezze degli arti inferiori, di quelli superiori e la lunghezza del busto. Inoltre è possibile introdurre gli angoli tra i vari segmenti corporei.

6. Applicazioni.

I modelli del corpo umano generati dal software precedentemente illustrato possono essere utilizzati in differenti applicazioni che vanno dall'analisi del movimento, come detto, alla valutazione della bontà della postazione di lavoro.

Sono state affrontate differenti simulazioni con particolare riguardo alla valutazione dell'interazione tra il pilota e il kart durante le fasi di guida [17]. Il pilota è riprodotto mediante un modello CAD tridimensionale in grado di simulare, grazie all'impiego di opportuni vincoli cinematici, tutte le possibilità di movimentazione del corpo umano. Il dummy è completamente parametrico e personalizzabile in base ai dati antropometrici del pilota.

Il modello del kart è implementato mediante corpi rigidi connessi attraverso rigidità rappresentative del telaio, ricavate grazie ad un procedimento di condensazione statica a partire da un modello FEM. Sono state anche rilevate le rigidità dei pneumatici ed il modello FEM è stato validato grazie a misure sperimentali. Le analisi svolte hanno permesso di verificare l'influenza della posizione del pilota sui trasferimenti di carico e quindi sul comportamento dinamico del kart e di valutare, inoltre, le forze agenti sul pilota durante la guida.

6.1. Interazione pilota-kart.

Il dummy del pilota è stato realizzato pensando ad un pilota di corporatura media, con un peso di 68 kg. In particolare è stato realizzato scalando la geometria standard in modo da ottenere un dummy di altezza di 170 cm.

Infatti, per questo tipo di studio i parametri di interesse erano il peso del pilota e la sua altezza compatibile con una corretta postura sul kart.

Il dummy fornito dall'applicativo si presenta, all'interno di Working Model, in posizione differente da quella di guida, va quindi posizionato correttamente sul sedile con l'impugnatura salda sul volante.

Per far questo è stato necessario, all'interno di Working Model, rendere alcuni vincoli rigidi e imporre ai segmenti che sono connessi tramite questi vincoli delle rotazioni.

Ovviamente, le rotazioni, o qualsiasi altro spostamento, non sono compatibili con la condizione di rigidità vincolare. Una volta impressa la rotazione il vincolo non è più soddisfatto e i segmenti corporei vengono automaticamente eliminati. A questo punto, è necessario per ripristinare la condizione di vincolo, ricrearli consentendo una rotazione compatibile.

Tale rotazione sarà esattamente quella imposta precedentemente e la nuova condizione di vincolo vedrà i segmenti vincolati tra loro ma ruotati rispetto alla condizione iniziale della quantità voluta.

Durante queste operazioni è stato necessario “fissare” alcuni corpi, facendo sì che non si potessero muovere, per interrompere la catena cinematica del manichino in modo da poter imporre la rotazione desiderata ai segmenti corporei.

Seguendo questo iter si è proceduto alla sistemazione della postura dei vari arti, superiori ed inferiori, nonché delle falangi per realizzare una condizione di presa sul volante.

Il pilota è stato avvicinato quanto più possibile al sedile fino ad una distanza che ha permesso di utilizzare un avvicinamento automatico senza compenetrazione.

Determinato tale punto di contatto si è costruito su questo un vincolo rigido che connette il pilota e il sedile. Allo stesso modo si è proceduto per assicurare una corretta presa del volante. Le mani sono vincolate con un vincolo volante-palmo.

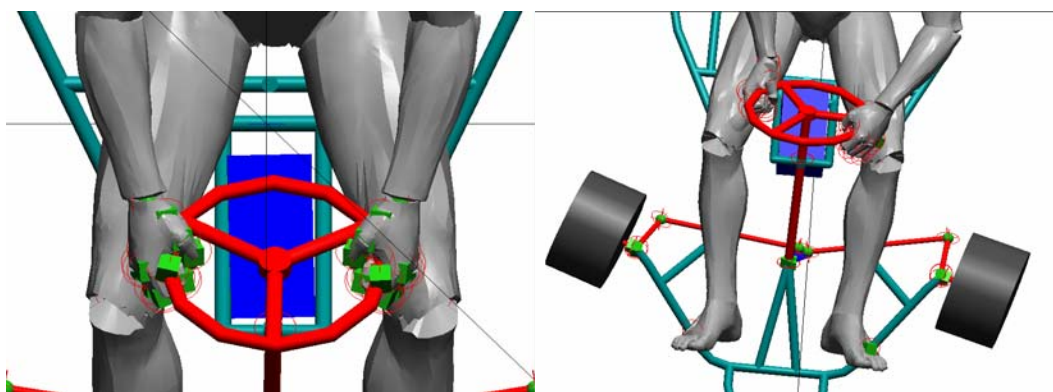


Fig. 24 - Dettaglio dell'interazione mani-volante

In fig. 24, si può notare il risultato finale, e la corretta postura delle mani anche durante la sterzata.

6.1.1. La catena cinematica del pilota.

Per limitare i gradi di libertà del sistema pilota-kart e quindi ridurre le operazioni di calcolo necessarie alla simulazione, alcune articolazioni, non coinvolte nella manovra, sono state rappresentate come vincoli rigidi.

Ad esempio, le gambe non partecipano alla manovra, si è pensato quindi di bloccarle trasformando i vincoli cinematici in corrispondenza delle articolazioni dell'anca, del ginocchio e della caviglia, in vincoli rigidi.

La parte superiore del corpo, invece, partecipando in maniera diretta all'azione di sterzata, è stata dotata di vincoli compatibili con la manovra.

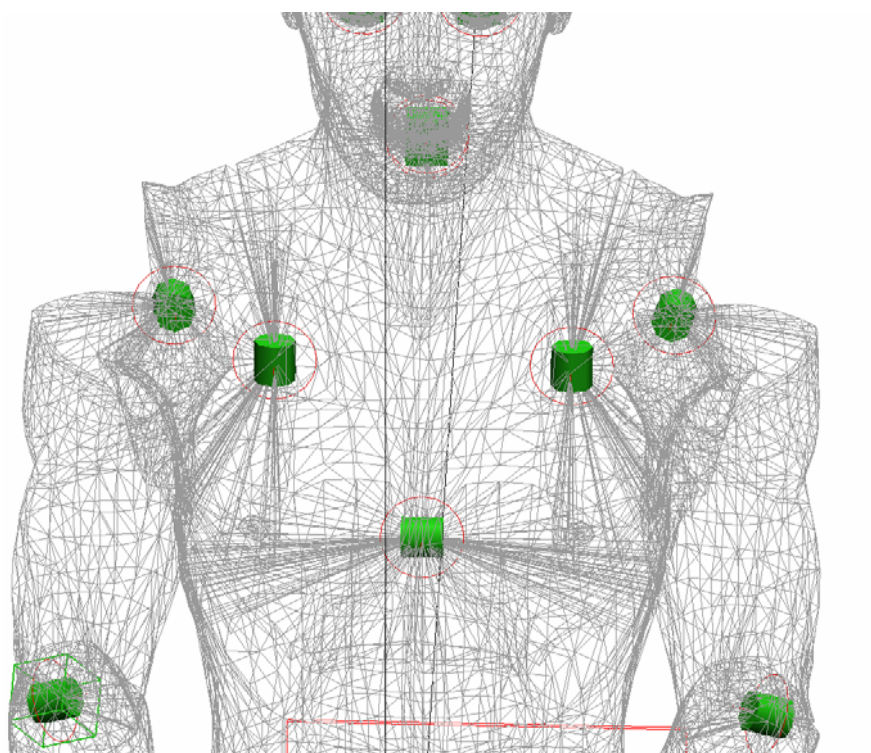


Fig. 25 – Scelta dei vincoli per le articolazioni del tronco e degli arti superiori

Il vincolo che collega il busto con l'addome, fig. 25, è una cerniera cilindrica che permette la rotazione relativa tra i segmenti corporei. La rotazione consentita è

compresa tra -40° e 40° rispetto alla posizione di zero, quest'ultima considerata come la posizione verticale. Le limitazioni articolari sono state scelte in accordo con [18].

I vincoli che consentono i movimenti relativi tra le spalle e le regioni pettorali, sono stati schematizzati anch'essi da una coppia cilindrica con asse di rotazione coincidente con l'asse verticale.

Le articolazioni delle spalle sono state rappresentate da coppie cilindriche orientate secondo l'asse Z nel riferimento locale. Anche per i gomiti si è scelto di utilizzare una cerniera sferica orientata secondo l'asse Z locale.

Tra l'addome e il busto è stato inserito un "revolute motor", che consente la rotazione attorno ad un asse, secondo una legge di moto imposta. Questo vincolo è stato necessario per simulare lo spostamento del busto del pilota nell'affrontare l'inserimento in curva.

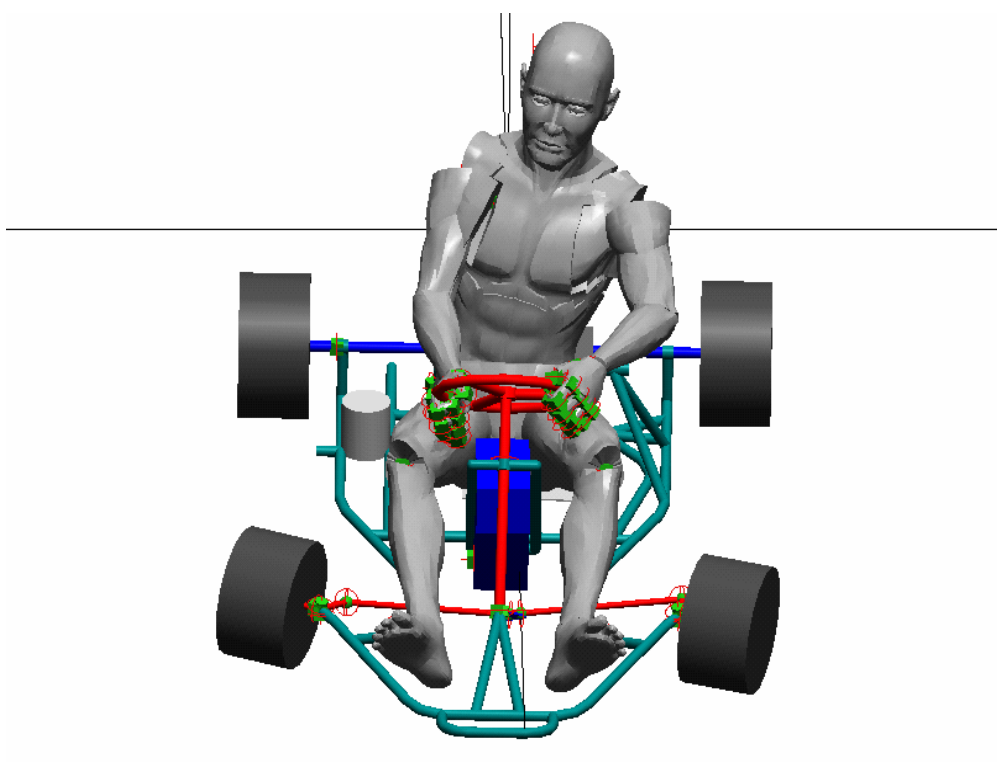


Fig. 26 – Inclinazione del busto durante la sterzata

In fig. 26 si può notare l'effetto della rotazione del busto durante l'inserimento in curva. Questa rotazione è data dalla legge di moto imposta tramite il vincolo "revolute motor".

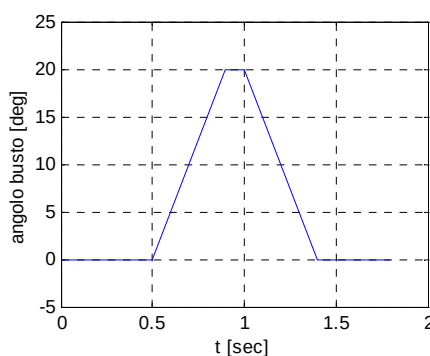


Fig. 27 – Andamento della rotazione del busto

Infine, per i polsi si è deciso di utilizzare un vincolo sferico per ottenere movimenti compatibili con il resto della catena cinematica, evitando così di realizzare un sistema iperstatico. Entrambi i palmi delle mani sono collegati, mediante un vincolo rigido, al volante. Le falangi simulano la presa sul volante e i vincoli, non necessari alla simulazione, sono rigidi, come mostrato in fig. 24.

6.1.2. Il modello del kart.

Il modello tridimensionale del kart, unitamente al manichino, sono stati implementati nel software multibody Working Model. Tutti gli elementi costitutivi del kart da competizione, ovvero il telaio, gli pneumatici, il motore, il serbatoio, sono stati modellati nel rispetto della geometria (passo, carreggiate, disposizione degli organi meccanici) e della distribuzione di masse del caso reale.

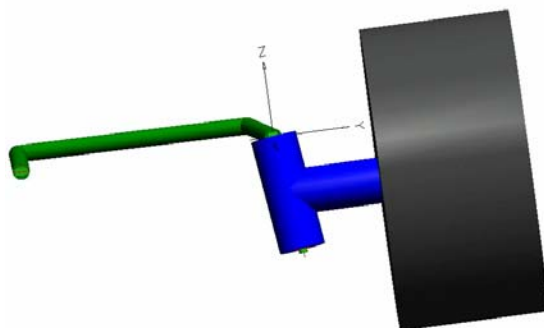


Fig. 28 – Rappresentazione del fusello di sterzo

Nel modello completo del kart è stata inserito il cinematismo di sterzo, secondo le misure della tiranteria riscontrate sul kart a disposizione. E' stata anche tenuta in conto la corretta inclinazione (sia di *caster* che di *king-pin*) del fusello di sterzo in modo da simulare correttamente la variazione di altezza da terra dei mozzi delle ruote anteriori in funzione della sterzata, fig. 28.

6.1.3. Le analisi svolte.

Sono state svolte differenti analisi per valutare il diverso comportamento in pista. Le analisi sono state svolte facendo percorrere all'insieme kart-pilota una traiettoria curvilinea, sia a velocità costante, sia imponendo una legge di moto il cui andamento è riportato in fig. 29.

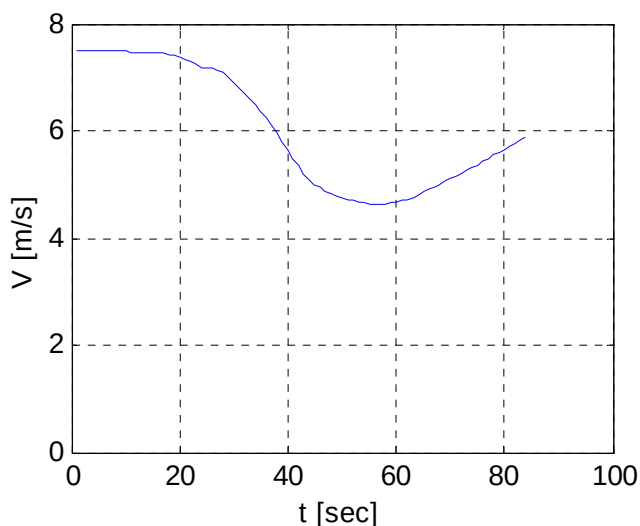


Fig. 29 - Velocità d'avanzamento

La sterzata è stata simulata imponendo una rotazione al volante secondo l'andamento riportato in fig. 30.

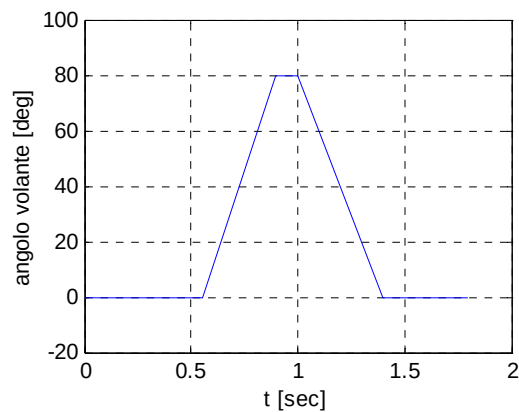


Fig. 30 – Andamento della legge di sterzata

Le varie simulazioni sono state eseguite sia col pilota col busto in posizione erette e fermo sia col busto in movimento dando la legge di moto al vincolo tra bacino e addome, come detto in precedenza, fig. 31. Tale rotazione comporta uno sbilanciamento del peso del pilota influenzando direttamente la traiettoria percorsa.

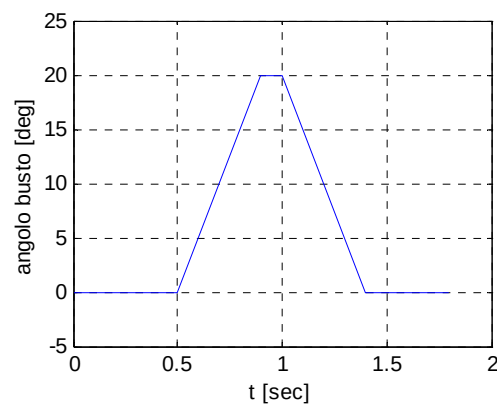


Fig. 31 – Andamento della legge di inclinazione del busto

Le simulazioni fatte sono quindi:

- *velocità costante e busto fermo*
- *velocità costante e busto mobile*
- *velocità variabile e busto fermo*
- *velocità variabile e busto mobile.*

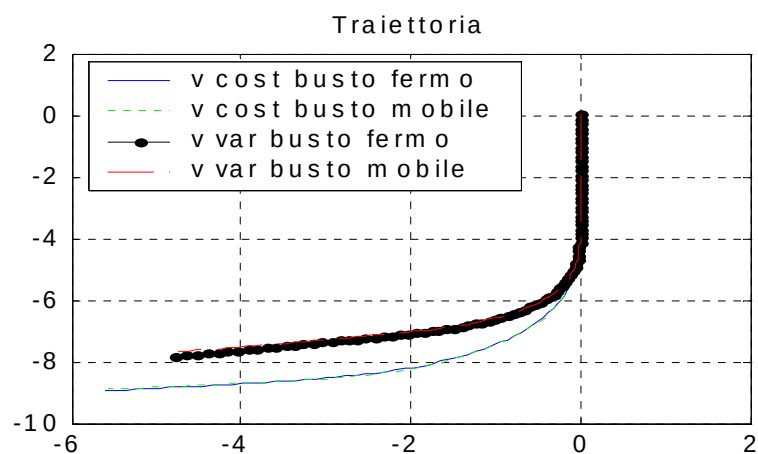


Fig. 32 - Le differenti traiettorie

Nella fig. 32, si possono notare le traiettorie nelle differenti condizioni di simulazione.

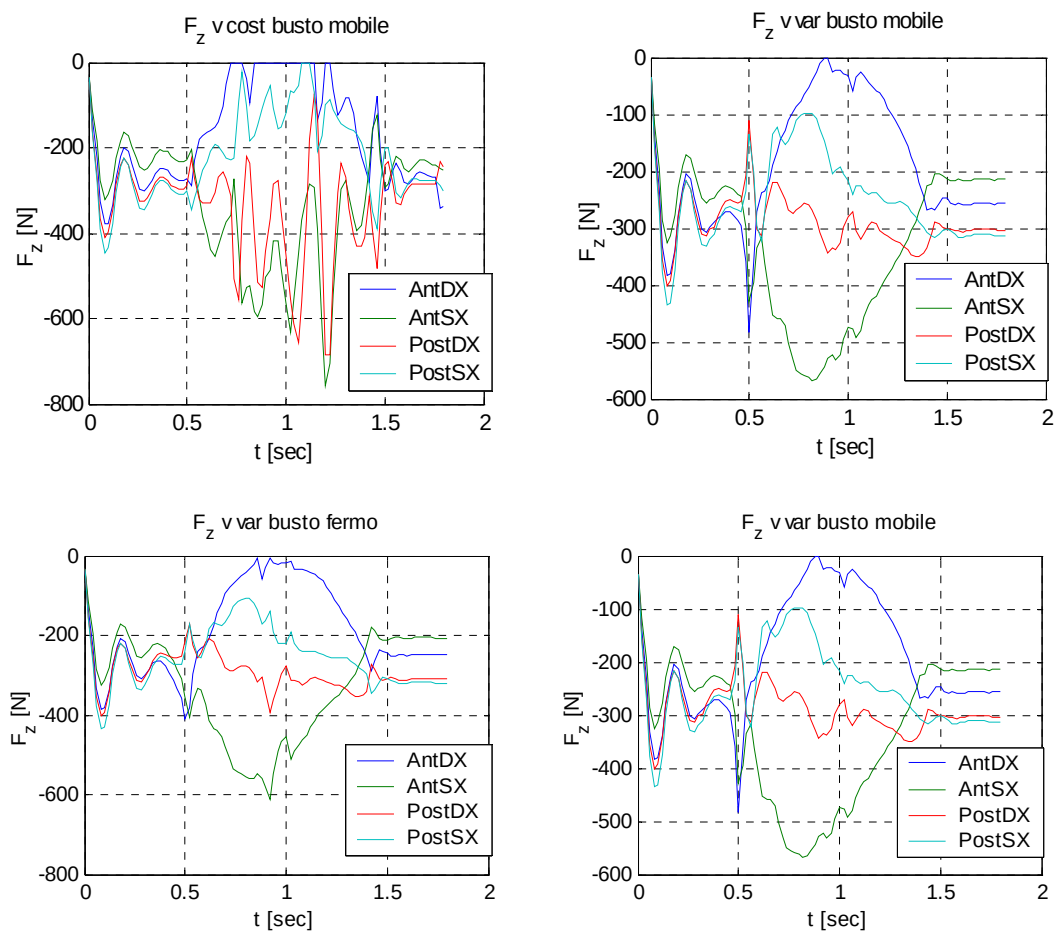


Fig. 33 – Andamento dei carichi sulle ruote nelle varie simulazioni

In fig. 34, vengono presentati i grafici che riguardano l'andamento dei carichi verticali agenti sulle ruote del kart durante le varie manovre. La fig. 20 riporta l'andamento dell'accelerazione laterale del kart durante le manovre con busto fermo e in movimento.

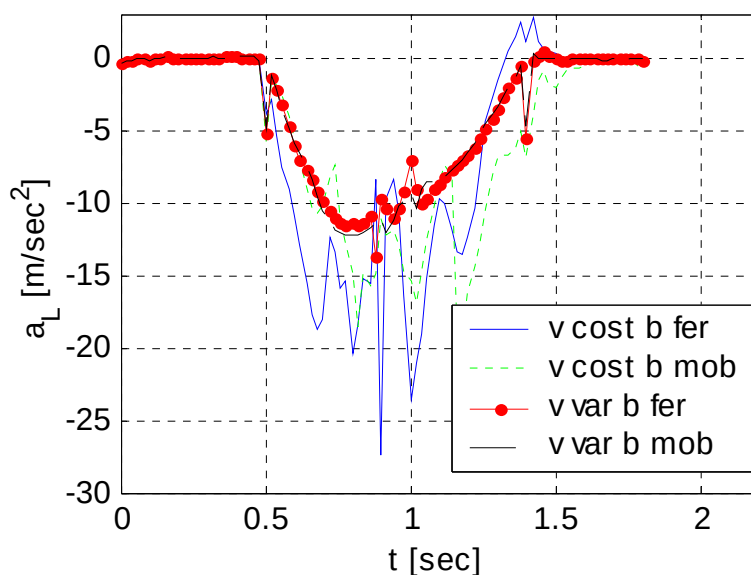


Fig. 34 – Andamento dell'accelerazione laterale del kart

Infine vengono presentate le grandezze di interesse misurate sul manichino.

Sono stati misurati, infatti, la forza e il momento agenti sul vincolo cinematico in posto nella zona cervicale e che collega i segmenti corporei collo e testa. I risultati provenienti dalle differenti simulazioni sono diagrammati in fig. 35.

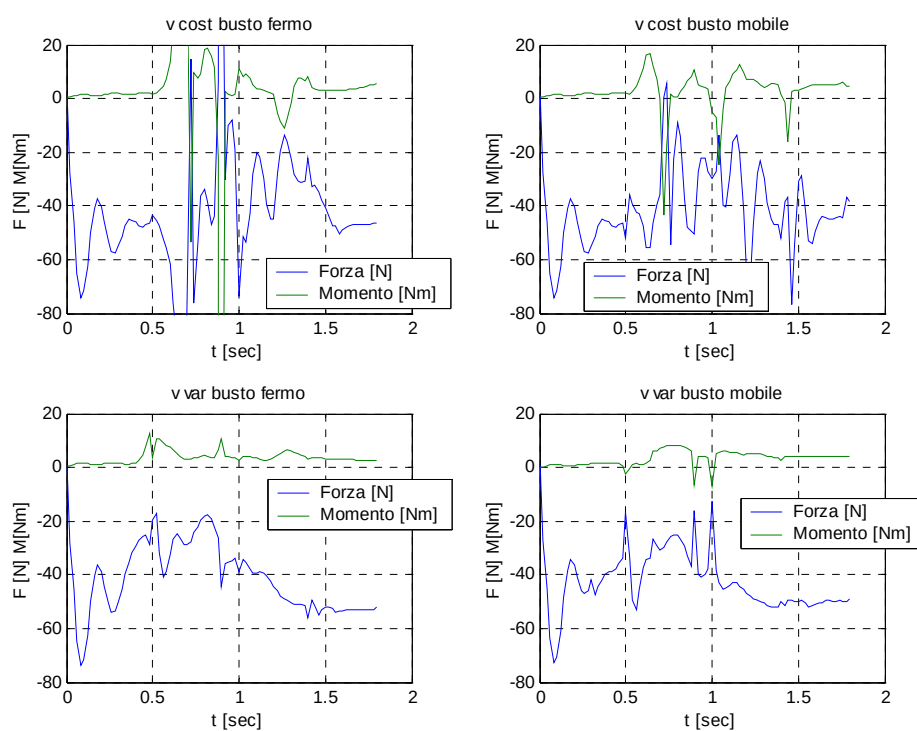


Fig. 35 – Andamento dei carichi (forza laterale e momento) sul collo del pilota

6.2. Realizzazione di un abitacolo.

Mediante il tool per Mechanical Desktop si è voluto realizzare un insieme abitacolo-autovettura. Mediante l'applicativo descritto in precedenza, InsiDesign, è stato possibile creare un modello digitale di un abitacolo e successivamente inserirlo all'interno di un modello di carrozzeria di un autovettura. Il modello CAD dell'abitacolo, comprensivo del pilota.

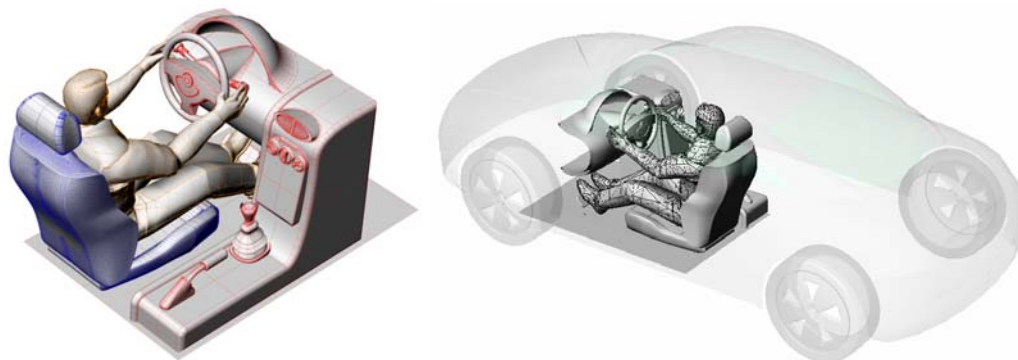


Fig. 36 – La postazione di guida

In fig. 36, è mostrato il pilota nella postazione di guida e la silhouette della carrozzeria.

Il modello completo è stato utilizzato per una simulazione di navigabilità all'interno del veicolo tramite un software di computer grafica, Cinema 4D. Da questa animazione si vede il modello completo, dall'esterno, e una panoramica interna che mostra anche la soggettiva del pilota e la sua postura all'interno del veicolo.

Anche se in questo caso si descrive un approccio solamente estetico, si vogliono sottolineare le potenzialità del software sviluppato e la sua utilizzazione in differenti settori di simulazione.

Nella figura seguente, fig. 37, viene riportato il modello con associate le *texture* di alcuni materiali.

Per la rappresentazione del corpo vettura si è deciso di riprodurre una Audi TT. L'abitacolo non riproduce, però, le caratteristiche reali di quello appartenente alla roadster.

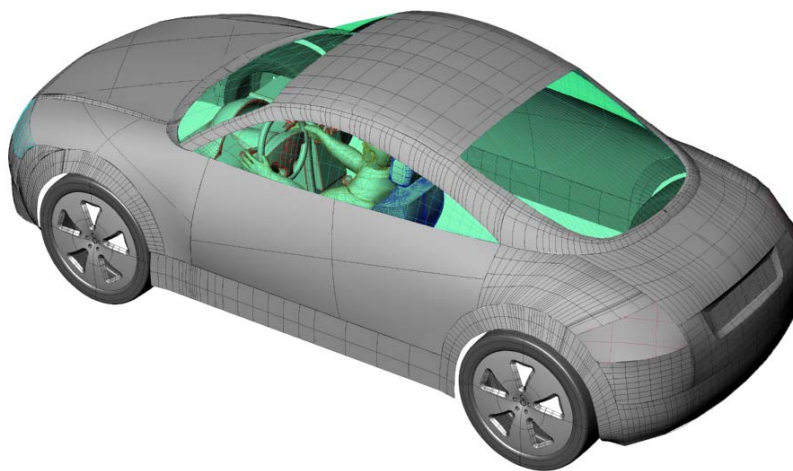


Fig. 37 – Il modello CAD della vettura

7. Considerazioni.

La realizzazione di modelli virtuali consente, in fase di progettazione, di valutare le scelte facendo test preliminari senza dover necessariamente produrre dei prototipi, laddove sia possibile. In questo modo, già in fase progettuale, vengono di gran lunga ridotti i costi progettuali e ottimizzate le soluzioni adottate.

Un modello dettagliato del corpo umano permette l'approccio dal punto di vista ergonomico in un processo di progettazione. Inoltre, è utile che questo dummy sia rappresentativo di differenti corporature, differenziandolo così per sesso e per antropometria.

Il software, realizzato in questo lavoro, permette di costruire un dummy sulle misure antropometriche rilevate da ciascun individuo. Il dummy così costruito può essere utilizzato sia per la riproduzione e l'analisi del movimento umano all'interno di un ambiente computazionale di tipo multibody, sia per studi di ergonomia, come l'adattabilità di abitacoli di autovetture per persone con handicap motori. Infatti, il manichino virtuale è dotato di vincoli tra i segmenti corporei che riproducono le principali articolazioni del corpo umano.

Sempre in modo virtuale si può testare la raggiungibilità dei comandi all'interno di un abitacolo o su una postazione di lavoro.

E' stato inoltre realizzato un modellatore automatico di interni di autovettura che ne permette la costruzione in ambiente CAD parametrico, mediante la semplice introduzione delle misure di interesse.

Sono stati sviluppati due applicativi in grado di realizzare modelli, del corpo umano e degli abitacoli, completamente parametrici, utilizzabili nella progettazione meccanica, ogni qualvolta sia necessario studiare l'interazione uomo-macchina.

Bibliografia.

- [1] Norman I. Badler, Rama Bindiganavale, Juliet Bourne, Jan Allbeck, Jiaping Shi and Martha Palmer, *Real Time Virtual Humans*, Center for Human Modeling and Simulation- Department of Computer and Information Science- University of Pennsylvania Philadelphia
- [2] J. M. Potter, C. Samantha Porter, *Occupant accommodation: an ergonomics approach*, In An Introduction to Modern Design, 2001
- [3] Tovey M: "Intuitive and objective processes in automotive design", Design Studies 1992 Jan, Vol. 13, No. 1, pages 23-41.
- [4] Porter, J.M., Case K. and Booney, *SAMMIE: a 3D human modelling computer aided ergonomics design system*, Co-design Journal , s207, pg. 68-75, 1996
- [5] Ramsis – http://www.ramsis.de/index2_e.php
- [6] Joachim Rix, André Stork, *Combining ergonomic and field-of-view analysis using virtual humans*, In proceedings of CTS Conference 1999
- [7] Silvia Quattrocchio, Paolo Leoncini, *Ergonomic Tests in a Virtual Environment*, In proceedings of the 1st European Workshop on High Performance Graphics Systems and Applications, 2000
- [8] Koji Ashida, Seung-Joo Lee, Jan M. Allbeck, Harold Sun, Norman I. Badler, Dimitris Metaxas, *Pedestrians: Creating Agent Behaviors through Statistical Analysis of Observation Data*, Proc. Computer Animation 2001
- [9] N. Badler, J. Allbeck, L. Zhao, and M. Byun., *Representing and parameterizing agent behaviors*, Proc. Computer Animation, IEEE Computer Society, 2002, Geneva, Switzerland.
- [10] Poser 4 - User manual - Curious Lab
- [11] Eugenio Pezzuti, Marco E. Biancolini, Alessio Ubertini, Andrea Gaspari, *Modelizacion Cad 3d del cuerpo humano y aplicacion para la analisis del movimiento*, XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España – 5-7 junio de 2002
- [12] Timothy G.Lohman, Alex F. Roche, Reynaldo Martorell, *Manuale di riferimento per la standardizzazione antropometrica*, EDRA, Medichal Publishing & New Media.

- [13] E. Pezzuti, G. Sola, A. Ubertini, P.P. Valentini, L. Vita, *Diseño y desarrollo de una máquina por medidas antropométricas*, XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA, Giugno 2004
- [14] D. Metaxas, D. Newman, and N. Badler, *Non invasive video motion capture*, Proc. 13th IAA Humans in Space Symposium, Santorini, Greece, May 20-26, 2000
- [15] Chi-Wei Chu, Odest Chadwicke Jenkins, Maja J Matarić, *Markerless Kinematic Model and Motion Capture from Volume Sequences*, 2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '03) - Volume II June 18 - 20, 2003
- [16] Bobby Bodenheimer, Chuck Rose, Seth Rosenthal, John Pella, *The Process of Motion Capture: Dealing with the Data*, Eurographics CAS, 1997
- [17] Eugenio Pezzuti, Luigi Reccia, Alessio Ubertini, Andrea Gaspari, *Analisi dell'interazione pilota-kart mediante tecnica multi-body*, Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni (AIAS) - XXXI Convegno Nazionale, 18-21 Settembre 2002
- [18] O.A. Rusee, J.J. Gerhardt, Ph. S. King, *Semeiotica e diagnostica ortopedica*, Aulo Gaggi Editore, 1980

CAPITOLO V

CONCLUSIONI

1. Conclusioni.

In questa tesi di Dottorato, si sono affrontate differenti problematiche nell'ambito della progettazione meccanica. Il perseguimento della soluzione è stato ottenuto utilizzando, nei differenti casi, una comune metodologia nell'ambito della progettazione integrata.

La metodologia applicata ha permesso di sfruttare le potenzialità dei protocolli comuni ai PC, ovvero la tecnologia API, realizzando differenti applicativi che hanno permesso di soddisfare le differenti esigenze nate nel corso del dottorato di ricerca. In particolare sono stati realizzati applicativi che sfruttando le piattaforme di software commerciali realizzano:

- la modellazione CAD del corpo umano
- la modellazione dell'abitacolo di un'autovettura,
- la catalogazione e ricostruzione virtuale dei reperti archeologici.

Utilizzando la tecnologia API con un il linguaggio di programmazione del tipo *object oriented*, come il Visual Basic, si è riusciti a realizzare delle interfacce grafiche dei tool di tipo user friendly, utilizzabili da utenti non necessariamente dotati di conoscenze tecniche specifiche cercando di semplificare le operazioni che l'utente deve effettuare.

Nel caso della modellazione CAD del corpo umano, si è realizzato un programma che genera un modello dettagliato del corpo umano, comprensivo delle principali articolazioni, che può essere personalizzato inserendo le misure antropometriche di ciascun individuo, in modo da ottenerne il suo manichino digitalizzato.

L'applicativo in particolare manipola la geometria generata dal software di computer grafica Poser sfruttandone le caratteristiche di resa grafica. La geometria originaria è stata trattata e adeguatamente completata, perché originariamente fornita come uno shell, non adatto all'utilizzo all'interno di un software di tipo *multybody*.

Il completamento della geometria e l'interfacciamento con tecniche di *motion capture* sono state implementate in Visual Basic, e vengono selezionate dall'utente semplicemente premendo il tasto corrispondente sulla finestra grafica dell'applicativo.

Il dummy, così costruito, è utilizzabile in ambiente di analisi dinamica per la riproduzione e l'analisi oggettiva del movimento umano.

Alcuni modelli di dummy sono stati utilizzati nello studio dell'interazione tra pilota e kart durante la simulazione di alcune manovre, come l'inserimento in curva in differenti condizioni di velocità.

Nel caso della modellazione degli abitacoli, si è voluto creare un applicativo che permettesse la generazione in maniera parametrica di abitacoli all'interno del software Mechanical Desktop. Modificando opportuni parametri tramite l'immissione dei corrispondenti valori, in tempo reale il corrispondente modello di abitacolo si modifica in base alle caratteristiche immesse, senza la necessità di doverlo ridisegnare e con la possibilità di personalizzarlo per le differenti esigenze, come possono essere quelle di adattamento a un portatore di handicap. Entrambi gli applicativi possono essere utilizzati per studi di ergonomia e test di fattibilità, sin dalle prime fasi progettuali.

Infine, nell'ambito della ricostruzione reperti archeologici, la metodologia è stata applicata per realizzare un software che permettesse di gestire in modo del tutto automatico e riducendo al minimo gli interventi dell'utente. La ricerca che ha portato allo sviluppo di questo software, si è svolta nell'ambito del PRIN 2001 "ARCHIVIAZIONE E RESTAURO DI REPERTI ARCHEOLOGICI MEDIANTE TECNICHE CAD-RP", dove si sono trattati reperti di vasellame ritrovate nel sito archeologico del Santuario di Hera alla foce del fiume Sele, nel salernitano.

Lo scopo di questo progetto, e quindi della ricerca ad esso collegata, è stato quello di utilizzare le moderne tecnologie proprie dell'ingegneria, come la reverse

engineering, come strumento di ausilio agli archeologi nelle fasi di catalogazione, prima, e ricostruzione virtuale poi.

All'interno del software, sono state implementate delle routine matematiche necessarie alla determinazione dell'asse di rivoluzione del frammento, a partire dalla matematica della superficie digitalizzata, acquisita mediante scanner tridimensionale. Una volta disponibile il modello digitale del frammento l'utente può manipolarlo senza rischio di rottura e procedere, sempre in virtuale, alla ricostruzione dell'intero reperto. Infatti, una delle funzioni dell'applicativo, permette di ricercare, all'interno del database di reperti, quello che ha le caratteristiche geometriche tali da poter essere affiancato a quello in esame.

Il software, come in puzzle tridimensionale, utilizzando un procedimento di confronto tra le curve di bordo dei frammenti, affianca quelli con caratteristiche simili.

Sono state fatte diverse prove sperimentali sia sui frammenti del vaso di test case, sia su altri manufatti ceramici, e in entrambi i casi i risultati sono stati soddisfacenti.

La metodologia utilizzata, quindi, si è dimostrata flessibile nei vari casi in cui è stata applicata, fornendo strumenti adatti a risolvere le differenti problematiche della progettazione integrata. Tale metodologia ha permesso di utilizzare le caratteristiche di modellazione e di analisi di alcuni software commerciali, permettendone un uso personalizzato e finalizzato alle esigenze della ricerca.

In questo modo si sono potute unire le differenti caratteristiche dei singoli software e sfruttarli al meglio per la realizzazione degli applicativi, che hanno la caratteristica di tipo *open source* e quindi possono essere in qualsiasi momento modificabili a differenza dei software commerciali.