

Premio Mimos 2004

Oggetto: Elaborato preliminare

Candidato: Soria Francesco Salvatore

Titolo progetto: “Generazione interattiva delle superfici di involuppo nelle analisi di assemblabilità e smontabilità in ambiente virtuale”

Conforme al paragrafo **4.2 *sviluppo del lavoro*** del bando di concorso, si riporta una breve illustrazione del progetto presentato, corredato da un commento del tutor.

Come accennato nella domanda di partecipazione al *Progetto Mimos 2004*, il lavoro presentato è il mio lavoro di tesi in Ingegneria Meccanica portato a termine in data 12/02/2004, con la votazione di 110/110 e lode.

Introduzione

In un mercato sempre più competitivo, come quello della produzione industriale, la riduzione del *time to market*, il contenimento dei costi e il controllo di qualità rivestono un ruolo fondamentale per il successo e la competitività di un'azienda. Parallelamente, lo sviluppo e la diffusione delle nuove tecnologie spinge le aziende verso dei sempre più frequenti aggiornamenti dei metodi e degli strumenti di lavoro.

Nonostante sia in atto questo processo d'innovazione continua, le aziende sono ancora costrette, in fase progettuale, ad utilizzare i prototipi fisici per valutare importanti fattori progettuali, come l'impatto estetico, l'assemblabilità delle parti o l'accessibilità dei componenti. L'impiego dei prototipi fisici rappresenta un collo di bottiglia rilevante nel processo di progettazione poiché la costruzione del prototipo necessita di tempi molto lunghi ed, inoltre, una qualsiasi modifica progettuale può richiedere un notevole impegno di tempo per essere apportata al prototipo. La possibilità di sostituire il prototipo fisico (Physical Mock-Up) con un corrispettivo virtuale (Digital Mock-Up) permette un notevole risparmio sul tempo e i costi legati, sia alla realizzazione, che alla successiva fase di modifica del prototipo.

La realtà virtuale offre, in questo settore un valido contributo. Con la realtà virtuale al progettista viene offerta la possibilità di visualizzare il DMU in scala 1:1 utilizzando la visione stereoscopica e i dispositivi di input tridimensionali per interagire con il DMU in maniera naturale e diretta. Lo sviluppo delle tecniche e delle metodologie legate alla prototipazione virtuale e alle applicazioni industriali della realtà virtuale stanno avendo un notevole impatto sul processo di progettazione di prodotti industriali complessi come gli autoveicoli o gli aeromobili. Una delle applicazioni più promettenti in quest'ambito è senz'altro l'analisi di assemblabilità e smontabilità in realtà virtuale.

Illustrazione del lavoro svolto

Già da diversi anni sono state introdotte nel processo di progettazione tematiche quali *Design for Assembly (DfA)*, *Design for Maintainability (DfM)*, *Design for Dissassembly (DfD)*. Questi approcci alla progettazione, ampiamente trattati nel lavoro di tesi, cercano di massimizzare i vantaggi tecnici ed economici di una corretta progettazione orientata all'assemblaggio, alla manutenzione ed al disassemblaggio dei componenti, nel rispetto della sicurezza e dell'ergonomia dell'operatore. Si tratta tuttavia di analisi molto complesse in cui la valutazione del fattore umano (nello specifico le difficoltà che un operatore incontra nell'effettuare le operazioni di montaggio e smontaggio dei componenti) riveste un ruolo fondamentale ma, al tempo stesso, rappresenta un passaggio molto complesso.

Poter effettuare le analisi di assemblabilità e smontabilità in realtà virtuale, significa simulare tutto il contesto operativo e le condizioni che un ipotetico operatore incontra nello svolgere un particolare compito.

Come accennato nella domanda di partecipazione, tale lavoro nasce da un progetto di ricerca congiunto tra il Dipartimento di Meccanica dell'Università della Calabria e l'Elasis – Centro Ricerche Auto – di Pomigliano d'Arco (NA), dove uno degli obiettivi è lo sviluppo di una applicazione, per l'analisi di assemblabilità e smontabilità in Realtà Virtuale.

La motivazione principale di tale progetto è l'assenza di un software commerciale in grado di permettere ai progettisti di effettuare in ambienti di VR analisi di assemblabilità e smontabilità in maniera completa e con la precisione richiesta da un'attività ingegneristica.

In riferimento alla letteratura in merito, la generazione delle superfici di involuppo, risulta il miglior metodo per validare le analisi di assemblabilità e smontabilità in ambiente virtuale.

Lo stato dell'arte, si limita ad oggetti piani o ad oggetti solidi, e non comprendono gli oggetti rappresentati mediante superfici poligonali che, per ragioni di efficienza di visualizzazione, è la rappresentazione unanimemente utilizzata nelle applicazioni di Realtà Virtuale. Inoltre, per lo specifico impiego che si vuole fare della superficie di involuppo, è necessario che questa sia generata in tempi estremamente ridotti rispetto a quelli che si possono ottenere con gli algoritmi presenti in letteratura che, essendo basati sulla

discretizzazione dello spazio e/o sull'uso di sistemi di equazioni differenziali, non risultano adattabili per gli scopi prefissati, pertanto non esiste un metodo che affronti il caso particolare, oggetto di questo lavoro di tesi e del progetto presentato.

Perciò, in tale lavoro si è ricercata un'applicazione che permette di validare le analisi di assemblabilità e smontabilità in ambiente virtuale.

In tutto ciò, il software gioca un ruolo molto importante. Il software utilizzato per lo studio di scene in ambiente virtuale è il *Division Mockup 2000i2 della PTC*, il quale mette a disposizione due strumenti di sviluppo per applicazioni:

- Basato su di uno scripting language, denominato vdi;
- Generazione di plug-in in linguaggio C, utilizzando le librerie messe a disposizione dal software

Per la generazione dell'applicazione si è fatto uso di entrambe le potenzialità sopra citate. In tale lavoro è stato, quindi, scritto un algoritmo per la generazione delle superfici di involuppo per oggetti rappresentati da superfici poligonali. La definizione di superficie di involuppo, definita in letteratura è il risultato del moto di un oggetto lungo una traiettoria arbitraria, considerando anche le rotazioni intorno ad un asse passante per il baricentro.

La generazione delle superfici di involuppo può essere scomposta in tre sottoproblemi:

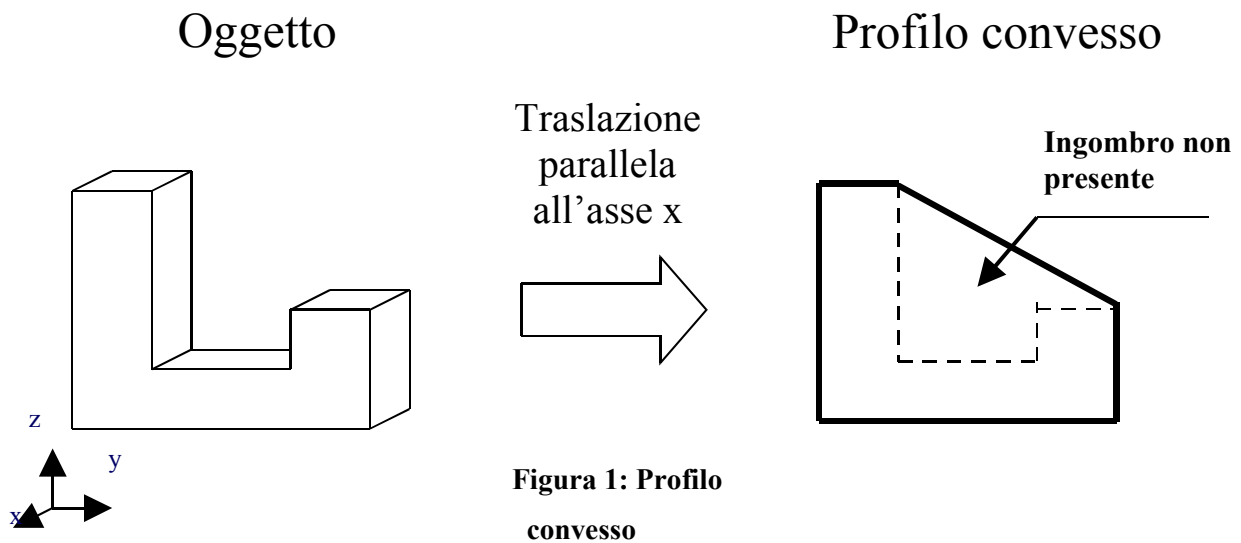
- generazione della superficie di involuppo dovuta alla traslazione;
- generazione della superficie di involuppo dovuta alla rotazione;
- unione booleana delle superfici generate per ogni traslazione e per ogni rotazione.

Il contributo fornito in questo lavoro riguarda il primo punto ed affronta il problema della generazione della superficie di involuppo spazzata da un oggetto che si muove di moto traslatorio fra due posizioni nello spazio.

L'algoritmo che è stato sviluppato proietta l'oggetto sul piano normale alla traiettoria e determina il profilo reale della proiezione che racchiude tutti i poligoni proiettati. Per la determinazione del profilo reale della proiezione l'algoritmo determina un vertice della frontiera e, partendo da questo, si muove lungo il profilo analizzando gli spigoli fino a

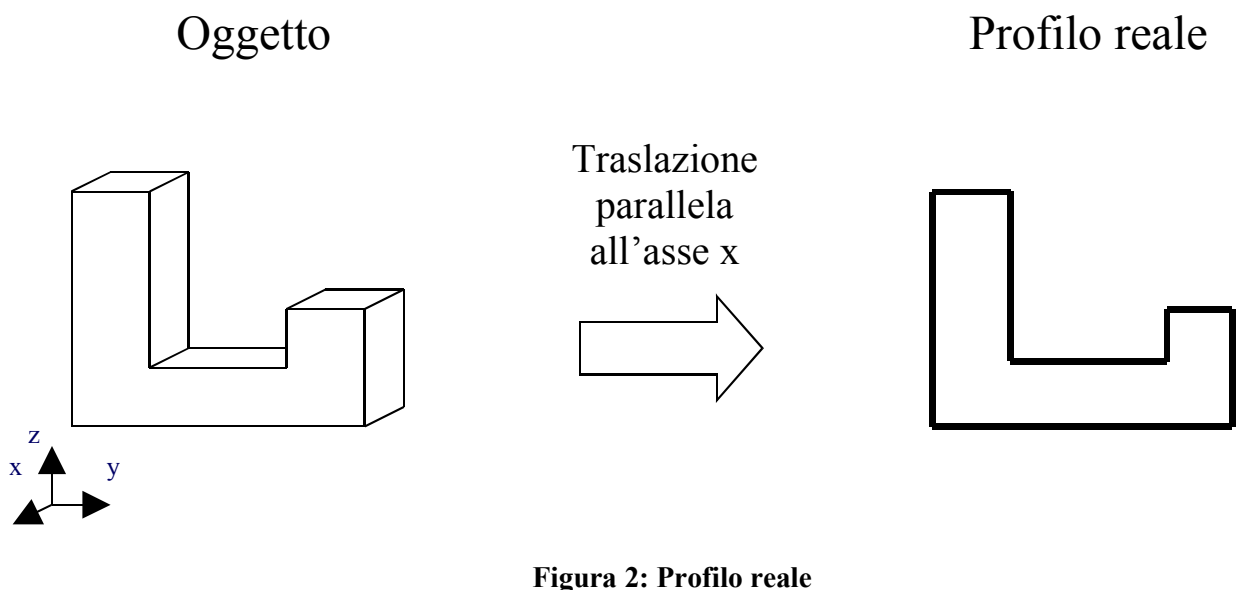
ritornare al vertice di partenza. Estrudendo il profilo lungo la traiettoria si ottiene la superficie di involuppo.

Il peso maggiore di tale lavoro, e proprio la determinazione del profilo reale della proiezione dell'oggetto. Infatti in letteratura, si fa riferimento al profilo convesso (*convex hull*). L'illustrazione di seguito mostra il risultato ottenuto dalla ricerca del profilo convesso di un oggetto:



L'esempio mostra che il risultato è la generazione di un poligono che circonda la proiezione dell'oggetto e considera ingombri in realtà non presenti.

Mentre in tale lavoro è stata scritta una procedura in linguaggio C, che determina il profilo reale della proiezione dell'oggetto. L'esempio mostra il risultato ottenuto:



L'algoritmo è suddiviso in step fondamentali:

- ✓ Determinazione della traiettoria;

Nei sistemi di Realtà Virtuale è rappresentata da una spezzata.

- ✓ Estrazione dai dati sui vertici e sugli spigoli;

Si accede alla struttura dati dell'oggetto opportunamente triangolarizzato, ricavando la posizione dei vertici e le connessioni fra loro.

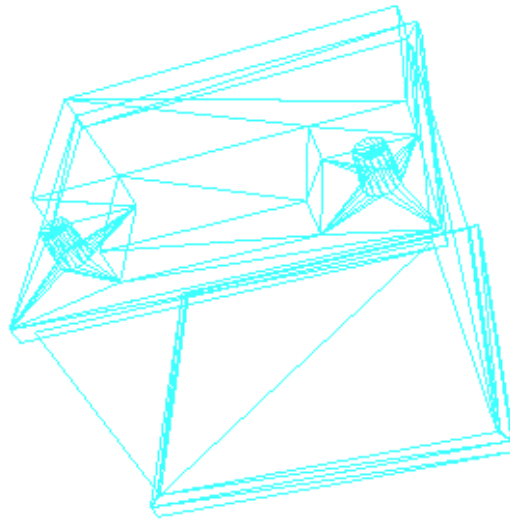


Figura 3: Superficie della batteria di un'automobile triangolarizzata

- ✓ Proiezione dell'oggetto sul piano normale alla traiettoria;

Si proiettano i vertici e gli spigoli sul piano passante per il baricentro dell'oggetto e normale alla traiettoria:

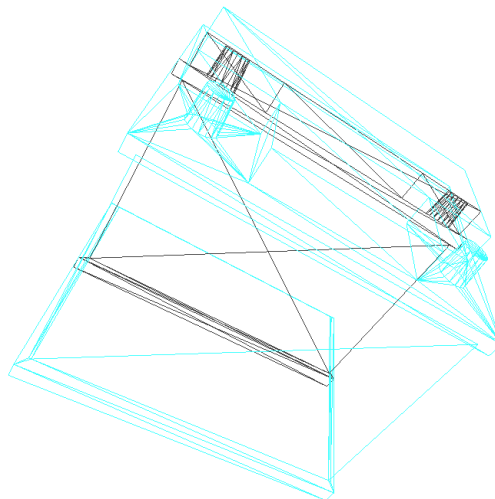


Figura 4: Proiezione dei triangoli

✓ Generazione del profilo reale;

- La ricerca del profilo avviene in senso orario, individuando gli spigoli che compongono il profilo.
- Partendo dal vertice con ordinata minima, che appartiene al contorno, si definisce un cammino che man mano ricopre tutto il profilo della figura proiettata.

Di seguito sono mostrati degli esempi di profili ottenuti:

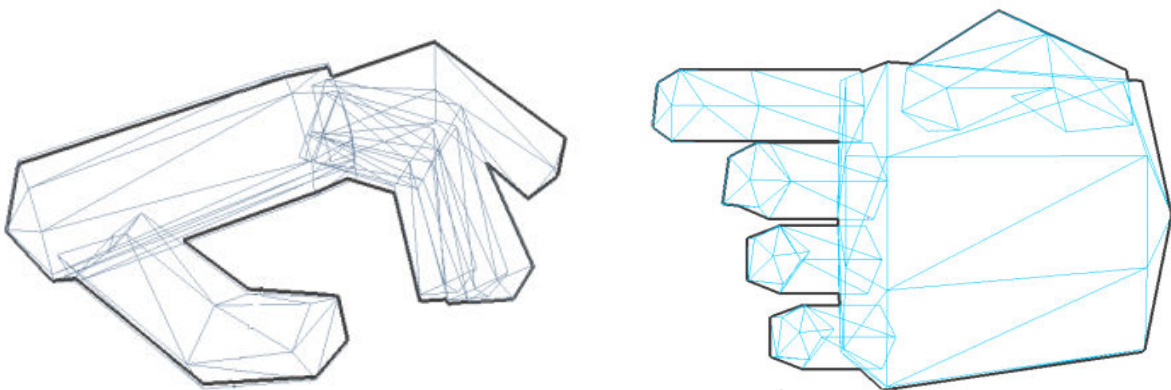


Figura 5: Esempi di profili della mano

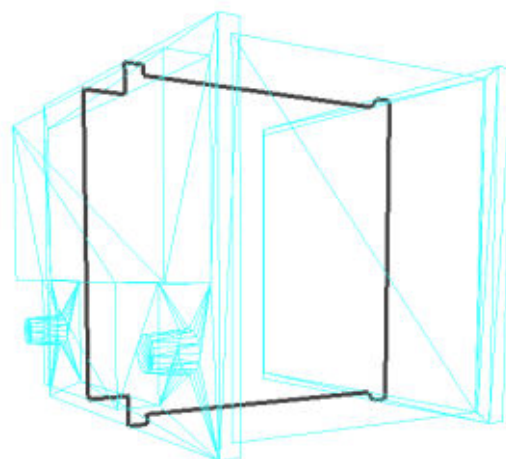


Figura 6: Profilo della batteria

✓ Generazione della superficie di involuppo

La superficie esterna dello sweeping viene generata dalla sequenza di triangoli con la normale rivolta verso l'esterno.

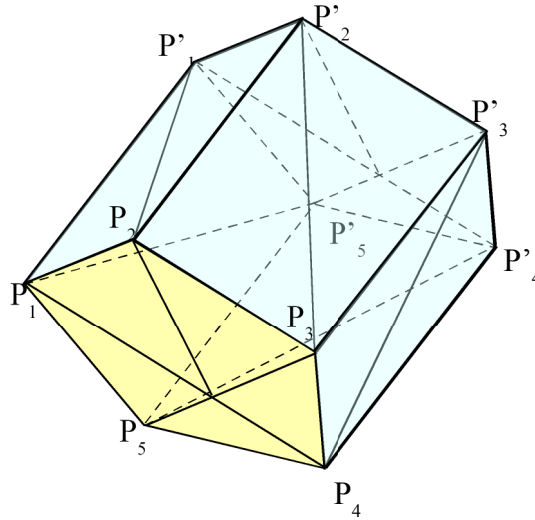


Figura 7: generazione superficie spazzata

Di seguito è riportato l'esempio dello sweeping di una batteria di un'automobile in due diverse modalità di visualizzazione:

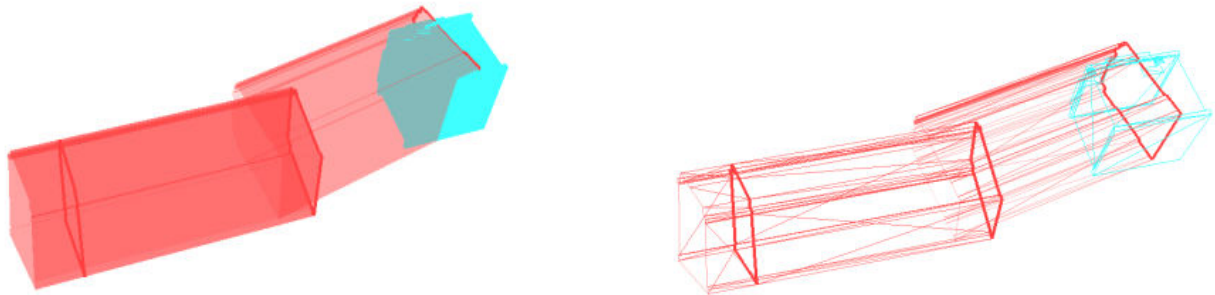


Figura 7: sweeping in visualizzazione shaded e wireframe

La generazione delle superfici di involuppo non è limitata alla sola visualizzazione, ma come viene precisato nel titolo di tale lavoro, la generazione è di tipo interattiva. Per comprendere meglio quanto detto, al volume spazzato viene associata la proprietà della *collision detection*, rilevando le eventuali collisioni con le altre parti circostanti. La collisione viene segnalata da un cambio di colore dello sweeping e dall'emissione di un suono.

Inoltre, in accordo con le tematiche progettuali inerenti (*Design for Assembly, Design for Maintainability, Design for Dissassembly*), l'applicazione si pone come obiettivo quello di soddisfare tutte le condizioni imposte. Infatti, una corretta analisi di assemblabilità, non solo deve assicurare che un componente sia assemblabile o smontabile, ma deve anche definire gli utensili adatti e le movimentazioni corrette da eseguire (traslazioni e rotazioni di ogni componente). Le informazioni sono spesso inserite in diagrammi e/o tabelle ed è necessario ottimizzare il numero di informazioni.

In accordo con tale principio, l'applicazione memorizza le posizioni del componente, ottimizzando il numero di informazioni finali. Pertanto, l'applicazione visualizza la traiettoria con una spezzata ed i punti notevoli di essa vengono contrassegnati da cubetti. Di seguito viene mostrato la traiettoria durante un'operazione di smontaggio.

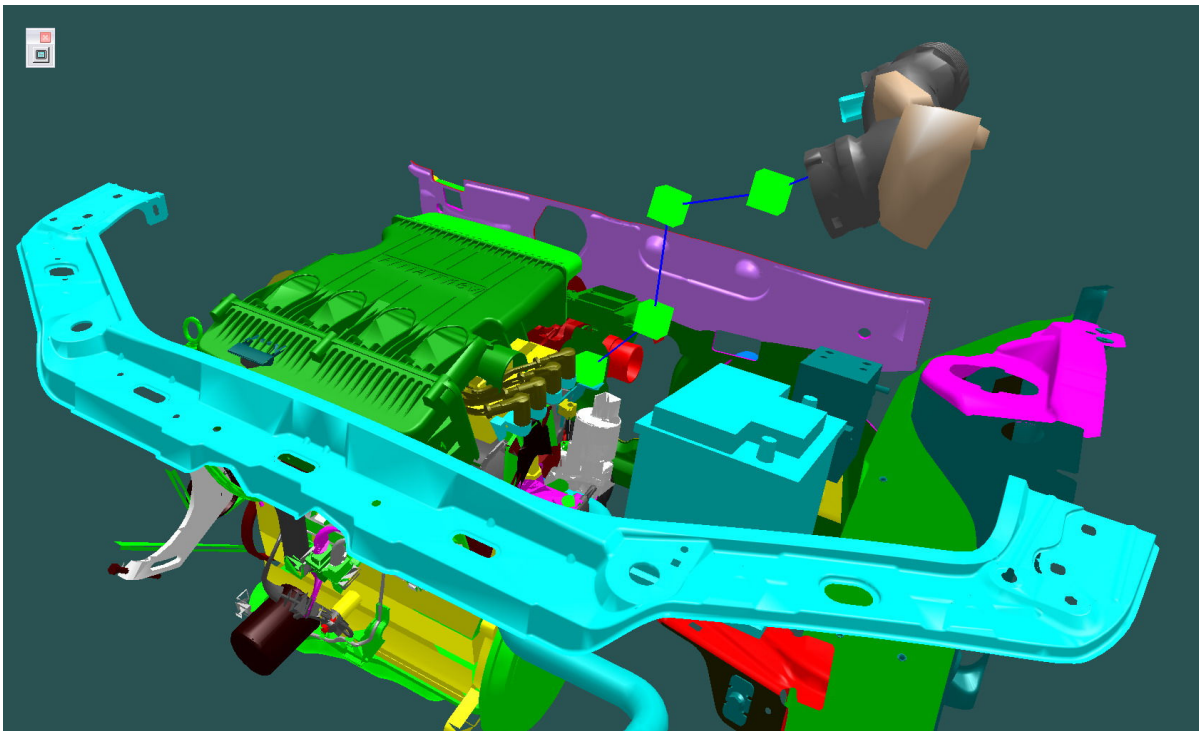


Figura 8: Visualizzazione traiettoria

Se la posizione dell'oggetto venisse memorizzata per intervalli di tempi finiti, dall'immagine in basso, risulta evidente che verrebbero memorizzate una serie di posizioni superflue, le quali potrebbero anche risentire dei movimenti naturali ed involontari della mano dell'operatore:

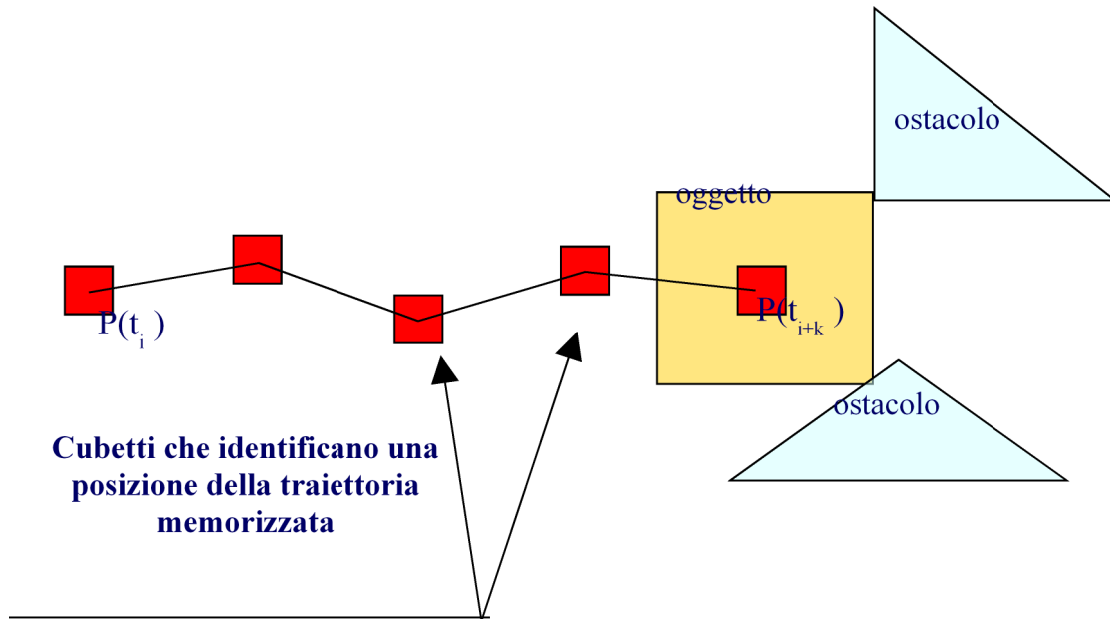


Figura 9: Memorizzazione di tutte le posizioni occupate dall'oggetto

Generando la superficie di involuppo, ogni posizione della traiettoria sarà memorizzata solo quando l'oggetto o il volume spazzato collide con un ostacolo. Tale posizione ci permette di minimizzare il numero di informazioni relative ad un processo.

Infatti, riferendoci all'esempio appena esposto, tutte le posizioni intermedie non verranno memorizzate e quando l'oggetto (in posizione P_{i+k+1}) collide con gli ostacoli, viene memorizzata l'ultima posizione priva di collisioni:



Figura 10: Collisione del oggetto con gli ostacoli

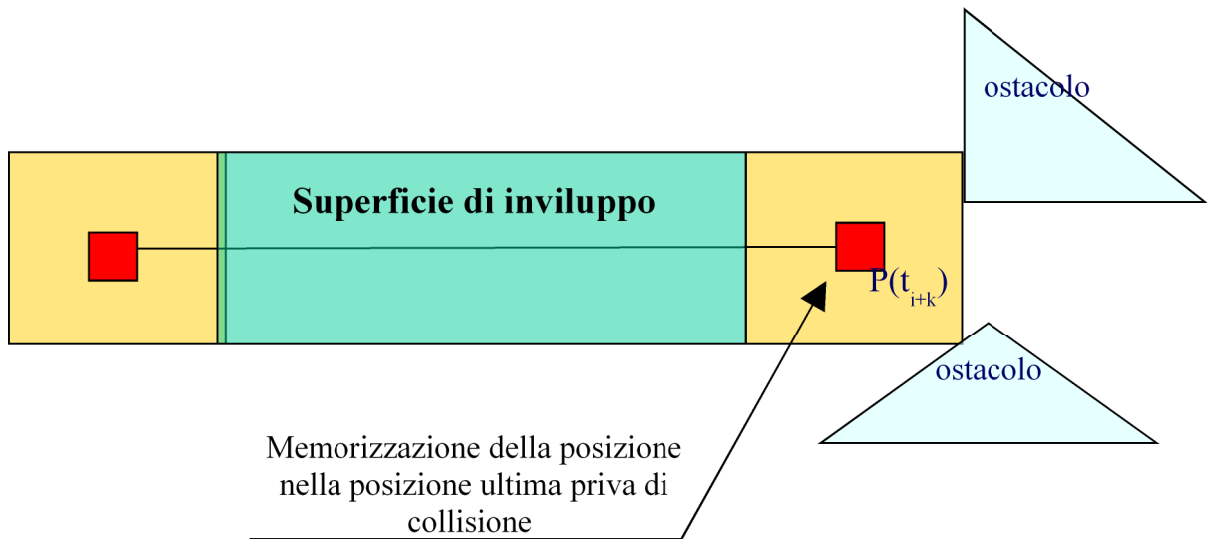


Figura 11: Memorizzazione ultima posizione priva di collisione

Nel caso in cui la collision detection rilevi una collisione tra la superficie di involuppo e gli ostacoli, come illustrato di seguito, l'oggetto si muove da $P(t_i)$ a $P(t_{i+k})$ senza che la superficie di involuppo rilevi collisioni. Giunto in $P(t_{i+k+1})$ si verifica una collisione sulla superficie di involuppo. Pertanto vengono memorizzate nel percorso di smontaggio solo le posizioni $P(t_i)$ a $P(t_{i+k})$.

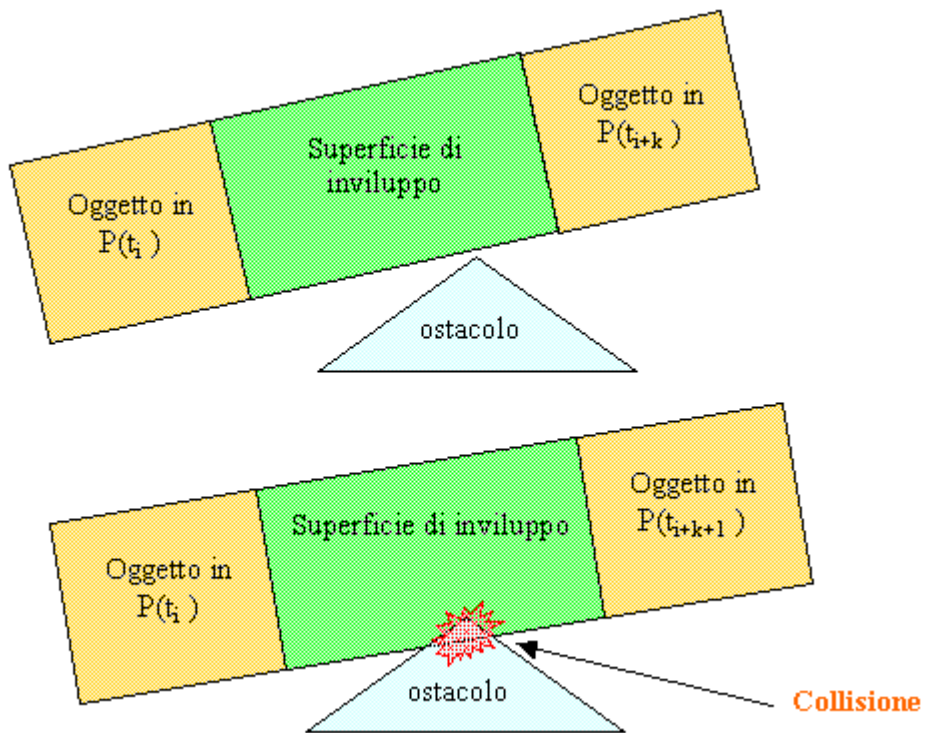


Figura 12: Memorizzazione ultima posizione priva di collisione

Risultati ottenuti

L'applicazione ha portato notevoli vantaggi alla ricerca in merito. Il risultato è la visualizzazione delle superfici di involuppo con precisione ingegneristica e in tempi necessariamente brevi, tale da poter considerare l'applicazione in real-time.

L'interattività permette di memorizzare il percorso di assemblaggio/smontaggio, ottimizzando il numero di informazioni, ovvero, ottenendo il numero minimo di dati che rappresenta l'intero processo.

Come accennato nel paragrafo precedente, tale applicazione si limita allo studio della generazione delle superfici di involuppo solo per moti traslatori, e non completa la finalità. Infatti, la superficie di involuppo così generata è compresa tra i due piani medi delle posizioni iniziali e finali della traslazione.

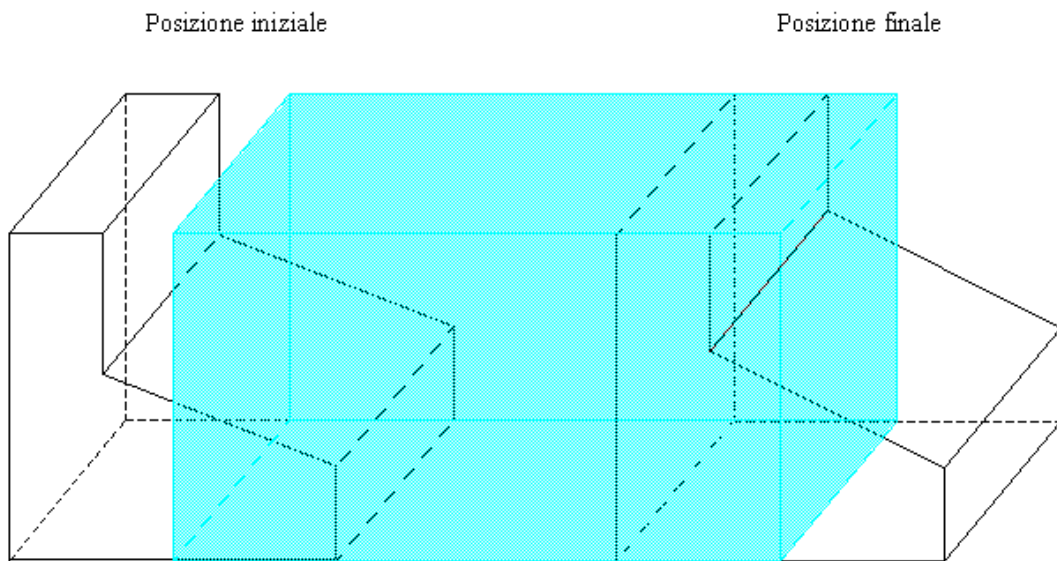


Figura 12: Volume spazzato compreso tra i due piani medi

Sviluppi futuri

Per quanto detto nel paragrafo precedente, il lavoro presenta ancora dei limiti. A tal proposito, ho intrapreso un contratto di collaborazione esterna con l'Università della Calabria a partire dal 23/02/2004 fino al 23/07/2004 al fine di realizzare un'applicazione completa. Il lavoro riguarda l'implementazione completa della prima fase e delle seguenti fasi, che permettono di generare le superfici di involuppo in maniera precisa e completa.

Commento tutor

Oggetto: Elaborato preliminare

Candidato: Soria Francesco Salvatore

Tutor: Prof. Maurizio Muzzupappa

Il presente lavoro ha fornito un contributo rilevante su uno degli aspetti più complessi di questa ricerca fornendo le basi per lo sviluppo di un modulo dedicato alla generazione delle superfici di involuppo. Inoltre, va considerato che in letteratura non è presente una procedura per la generazione delle superfici di involuppo per oggetti rappresentati da superfici poligonali, pertanto, tale lavoro acquista un aspetto innovativo per la ricerca scientifica.

Va ricordato che l'applicazione fin qui svolta, permette di generare la superficie di involuppo in tempi estremamente brevi, potendo definire tale applicazione in *real-time*.

E' opportuno citare l'articolo scientifico votato come il migliore in merito alla generazione delle superfici di involuppo (Young J. Kim, Gokul Varadhan, Ming C. Lin, Dinesh Manocha: *Fast Swept volume approximation of complex polyhedral models* . Department of Computer Science, UNCChapel Hill 2003), il quale permette di generare il volume spazzato con estrema precisione, ma mediante procedure onerose che si traducono in tempi elevati, non potendo ritenere l'applicazione valida ai fini predisposti.

Prof. Maurizio Muzzupappa