



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento di Architettura e Design
Collegio di Design
Corso di Laurea in Design e Comunicazione Visiva
Design di prodotto
Anno Accademico 2021/2022
Tesi di Laurea

Metodologie di modellazione 3D nei software CAD parametrici associativi

Studio comparativo tra due metodologie di modellazione
utilizzate per migliorare la comunicazione e
la riusabilità dei modelli.

Candidato
Claudio Capuano

Relatore
Prof. Andrea Sanna

Alla mia Famiglia,
i miei genitori, i miei fratelli e le mie sorelle.

Al Diritto allo Studio,
EDISU Piemonte e la città di Torino.

Abstract

I software di modellazione **CAD parametrici associativi** risultano essere ancora oggi i più utilizzati nelle industrie per la progettazione di **componenti meccanici**.

La forte evoluzione del settore richiede una costante ottimizzazione delle risorse di lavoro e del tempo necessario per la creazione e la modifica dei componenti meccanici durante la progettazione e lo sviluppo di un qualsiasi prodotto. Questo rende la **riusabilità dei modelli** un aspetto fondamentale per l'ottimizzazione delle risorse.

Tra gli aspetti che influenzano maggiormente le prestazioni della riusabilità dei modelli, la **comunicazione dell'intento progettuale** all'interno dell'**albero delle operazioni** è sicuramente uno degli elementi responsabili del **carico di lavoro cognitivo** necessario per la comprensione e **modifica dei modelli**. Nella comunità scientifica sono presenti alcune **metodologie di modellazione** progettate in modo tale da schematizzare i vari passaggi necessari per la creazione di un qualsiasi modello, rendendo quindi il processo adattabile a vari progetti e maggiormente comprensibile per tutti quei **soggetti estranei alla sua creazione** che, in un **ambiente lavorativo di gruppo**, possano avere la necessità di dover apportare modifiche.

Questo studio quindi pone come obiettivo la comprensione degli aspetti che maggiormente influenzano l'**intuitività** dell'albero delle operazioni nei modelli CAD, cercando di acquisire informazioni utili attraverso l'**osservazione** di soggetti non a conoscenza della metodologia utilizzata per la creazione del modello CAD.

Tale studio viene sottoposto **comparando due diverse metodologie** di modellazione CAD già presenti nella comunità scientifica, in modo da poter esaminare quali aspetti di ciascuna siano maggiormente efficienti nella comunicazione dell'intento progettuale.

Indice

1. Introduzione	1	6.1 Le esigenze di riusabilità	73
2. Stato dell'arte	3	6.2 Learning, Repetition, Execution	73
2.1 Introduzione al CAD parametrico associativo	3	6.3 La rinominazione delle operazioni	74
2.1.1 Il CAD parametrico associativo nell'industria	4	6.4 L'intento progettuale funzionale	75
2.1.2 L'educazione nei software CAD	6		
2.1.3 Conclusioni dell'introduzione	7	7. Bibliografia	77
2.2 La riusabilità nei modelli CAD	8		
2.2.1 Metodologie di modellazione	10		
2.2.2 Delphi's Horizontal Modeling	10		
2.2.3 Explicit Reference Modeling	11		
2.2.4 Resilient Modeling Strategy	12		
2.2.5 Conclusioni sulla riusabilità	13		
2.3 Il "design intent" nei modelli CAD	17		
2.3.1 Definizione dell'intento progettuale	17		
2.3.2 L'intento progettuale dipendente dall'applicazione	19		
2.3.3 Strategia di modellazione funzionale	20		
2.3.4 Analisi del caso studio Cheng & Ma	21		
2.3.5 Le caratteristiche geometriche astratte	23		
2.3.6 Conclusioni dell'intento progettuale	25		
2.4 Conclusioni generali dello stato dell'arte	28		
3. Studio comparativo	31		
3.1 Strategia Cheng & Ma	31		
3.1.1 Nomenclatura nell'albero delle operazioni	31		
3.2 Procedura dello studio comparativo	33		
3.2.1 Osservazione delle metodologie e delle strategie	35		
3.3 Criterio di selezione delle modifiche	37		
3.4 Il sistema NASA TLX	43		
4. Analisi dei dati	47		
4.1 Introduzione del test "t" di Student	47		
4.2 Introduzione del dato "improvement"	48		
4.3 Analisi della modifica n. 1	49		
4.4 Analisi della modifica n.2	53		
4.5 Analisi della modifica n. 3	55		
4.6 Analisi generali e del NASA TLX	59		
4.7 Analisi delle osservazioni in tempo reale	61		
5. Conclusioni	65		
5.1 Conclusioni individuali sulle modifiche	65		
5.2 Conclusioni generali	67		
5.3 Conclusioni personali	69		
6. Linee future	73		
		Figura 1. Esempio di un modello CAD creato con il software SolidWorks	3
		Figura 2. Ciclo di vita dei modelli CAD utilizzato per migliorarne l'efficienza	4
		Figura 3. Esempio del "Knowledge-Based Design", o KBE	5
		Figura 4. Possibili esigenze di riusabilità	9
		Figura 5. Delphi's Horizontal Modeling	11
		Figura 6. Categoria II nella Explicit Reference Modeling	12
		Figura 7. Divisione gruppi nella Resilient Modeling Strategy	13
		Figura 8. Fattori rilevanti nella progettazione di una metodologia	14
		Figura 9. Terzo fattore utile per la progettazione di una metodologia	15
		Figura 10. Concetti rilevanti estrapolati dallo studio delle metodologie	16
		Figura 11. Elementi di input ed output illustrati da Barbero el al.	19
		Figura 12. Strategia di modellazione Cheng & Ma	21
		Figura 13. Pistone utilizzato nel caso studio di Cheng & Ma	22
		Figura 14. Strategie di modellazione per caratteristiche geometriche astratte	23
		Figura 15. Astrazione cinematica e sviluppo della geometria, Cheng & Ma	24
		Figura 16. Differenti approcci di comunicazione delle restrizioni, Otey et al.	26
		Figura 17. Incongruenza tra l'albero delle operazioni e l'intento progettuale	27
		Figura 18. Componente meccanico utilizzato per il test	34
		Figura 19. Differenti informazioni nello sketch per la stessa geometria	37
		Figura 20. Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 1	38
		Figura 21. Differente posizionamento delle caratteristiche geometriche	39
		Figura 22. Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 2	40
		Figura 23. Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 3	42
		Figura 24. Esempio layout del sistema NASA TLX	44
		Figura 25. Esempio di applicazione del test "t" di Student	47
		Figura 26. Dati in riferimento all'individuazione dello sketch 1	50
		Figura 27. Dati in riferimento alla modifica n. 1	52
		Figura 28. Dati in riferimento alla modifica n. 2	54
		Figura 29. Dati in riferimento alla modifica n. 3	56
		Figura 30. Dati in riferimento alla rinominazione delle operazioni previste	58
		Figura 31. Dati in riferimento al NASA TLX	59
		Figura 32. Dati in riferimento alle relazioni tra i tempi medi totali	60

Introduzione

1.

Introduzione

Questo studio è una tesi di laurea triennale in design della comunicazione e del prodotto industriale realizzato durante il programma Erasmus+ presso l'università Mondragon Unibertsitatea. Il lavoro si è svolto nel laboratorio di ricerca e sviluppo dell'università "Diseinu Berrikuntza Zentroa" o "Design Innovation Center", incentrato nello studio di nuove metodologie nel campo del design, in collaborazione con le aziende del territorio.

In particolare, questo studio nasce dall'esperienza lavorativa prestata nell'università ospitante riguardo lo sviluppo di nuove metodologie di modellazione 3D nei software CAD parametrici associativi del quale il professore Aritz Aranburu è responsabile.

CAPITOLO 2

Stato dell'arte

2.
Sato dell'arte

Nella sezione seguente verranno approfonditi i sistemi CAD associativi parametrici applicati nel mondo industriale e didattico e come la riusabilità dei modelli sia un elemento chiave di unione tra i due ambiti. Verranno illustrate le metodologie individuate in letteratura, verrà approfondito il concetto di "rappresentazione del design intent", confrontando il lavoro di alcuni autori che hanno approfondito l'argomento, cercando di trarre informazioni utili per il proseguimento di questo studio.

2.1
Introduzione al CAD parametrico associativo

Lo scopo di questa introduzione è comprendere e contestualizzare la tecnologia CAD. Il computer aided design, generalmente conosciuto come CAD, è nato in Europa a metà degli anni '70. Le prime aziende che iniziarono a introdurre questa tecnologia nel loro lavoro furono le aziende di automazione e quelle aeronautiche. All'inizio gli strumenti CAD 2D erano i più rilevanti nel mercato, ma negli anni 90 la nuova tecnologia 3D ha iniziato a espandersi nel mercato grazie ai suoi vantaggi per ottenere modelli più complicati, meno documentazione nel processo del prodotto, identificazione veloce dei problemi funzionali e di fabbricazione, possibilità di usare software di simulazione, aiuto nella comunicazione tra le aziende e facilità di prototipazione. In questo momento, i software associativi parametrici CAD sono i più utilizzati in campo industriale [1].

Per generare il modello 3D vengono utilizzate diverse operazioni che saranno ordinate in quello che è noto come albero di montaggio. Le operazioni, note anche come "features", sono tutte le costruzioni geometriche che possono essere salvate, modificate ed eliminate. Queste caratteristiche hanno come base uno schizzo 2D utile per limitare e definire la forma delle caratteristiche 3D. Quando un elemento come uno schizzo, un piano o una feature viene costruito, sarà possibile relazionare questi elementi tra loro nell'albero di montaggio. Quando si genera una relazione tra operazioni, si genera una dipendenza padre/figlio. Questo crea la possibilità di poter apportare modifiche a una caratteristica e automaticamente tutte le caratteristiche collegate ad essa saranno modificate ed aggiornate. Per questo motivo tutte le operazioni sono disponibili nell'albero di assemblaggio durante e dopo la modellazione in un ordine gerarchico.



Figura 1 Esempio di un modello CAD creato con il software SolidWorks

2.1.1
Il CAD parametrico associativo nell'industria

L'obiettivo di questa sezione è conoscere la realtà delle industrie che usano i software CAD. È importante esplorare questo settore per identificare le caratteristiche, le necessità e i problemi delle aziende. Per analizzare questo tema, è stato usato come riferimento lo studio realizzato per il Gruppo Aberdeen, una società internazionale con sede negli Stati Uniti, con accesso alle informazioni di più di 200 aziende in tutto il mondo. Nel 2007 hanno realizzato uno studio in relazione alla riusabilità dei modelli nelle aziende [2]. Hanno intervistato designer industriali in più di 150 aziende (piccole aziende 55%, medie aziende 29%, grandi aziende 16%). In questo modo, sono stati in grado di stabilire i quattro principali problemi che le aziende hanno nel riutilizzare i modelli:

- 1. Le modifiche richiedono una **conoscenza esperta** del CAD (57%);
- 2. I modelli **non sono flessibili** e non rispondono ai cambiamenti (48%);
- 3. L'utente **non incontra modelli** a cui si possano apportare le modifiche (46%);
- 4. **Solo il progettista** che ha creato il modello può apportare le modifiche (40%).

Secondo gli autori, i sistemi CAD parametrici associativi stanno attualmente giocando un ruolo sempre più importante nella maggior parte delle aziende del settore industriale, poiché coincidono con la tecnologia CAD più utilizzata. In seguito verrà illustrata un'analisi degli autori su quali azioni dovrebbero essere intraprese in

un'impresa per migliorare l'efficienza nel riutilizzo dei modelli CAD. Bodein et al. [1] definiscono 4 aspetti principali che andrebbero migliorati nelle aziende automobilistiche (Figura 2):

- 1. **Standardizzazione**;
- 2. Uso di **metodologie avanzate**;
- 3. Progettazione basata sulla **conoscenza**;
- 4. **Controllo qualità** da esperti.

Questo sistema è conosciuto come Product Lifecycle Management o PLM.

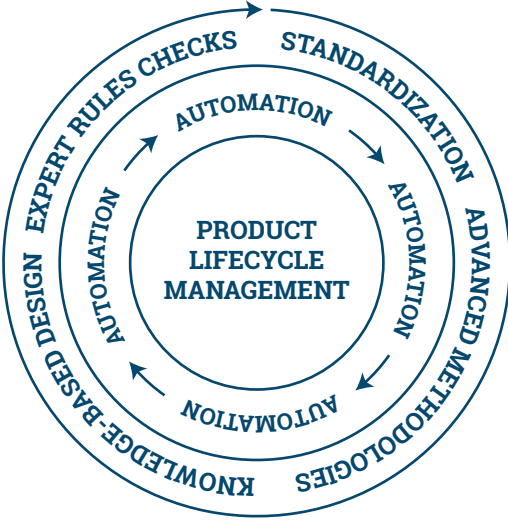


Figura 2 Ciclo di vita dei modelli CAD utilizzato per migliorarne l'efficienza

Il primo livello, la standardizzazione, mira a facilitare la compatibilità dei file CAD nella gestione del ciclo di vita del prodotto. Questo facilita la collaborazione tra

i diversi processi coinvolti nella produzione dei prodotti in un'azienda, e impedisce anche la creazione di versioni molto simili dello stesso modello.

Per raggiungere questo obiettivo, Bodein et al. [1] propongono la definizione di linee guida di base per la creazione dei prodotti, così come per la standardizzazione dei criteri di verifica. Nella seconda categoria, gli autori propongono l'uso di una metodologia avanzata di modellazione CAD per soddisfare la necessità primaria di standardizzazione e per facilitare il riutilizzo dei modelli nella gestione del ciclo di vita del prodotto. Maggiore è il numero di componenti che compongono il prodotto, maggiore è la necessità di una metodologia di modellazione CAD orientata al prodotto. La terza categoria integra la progettazione basata sulla conoscenza (KBE). Consiste nell'uso della conoscenza di tutti i campi di studio coinvolti nella progettazione per facilitare la standardizzazione ed il controllo della qualità del progetto. Gli autori portano l'esempio di un caso studio in cui le conoscenze ergonomiche e fisiologiche sono utilizzate per la progettazione di un sedile (Figura 3).

L'integrazione della conoscenza dei campi di studio coinvolti nella progettazione automatizzerebbe il processo di progettazione così come la futura convalida dei requisiti di progettazione.

Il quarto livello corrisponde alla verifica della qualità del modello. Come illustrato precedentemente, queste verifiche possono essere effettuate attraverso l'uso del KBE da un esperto in materia.

Secondo gli autori, l'obiettivo finale di questo modello di processo produttivo è quello di automatizzare le fasi di progettazione dei modelli per poter successivamente ottimizzare il processo ogni volta in modo più definito.

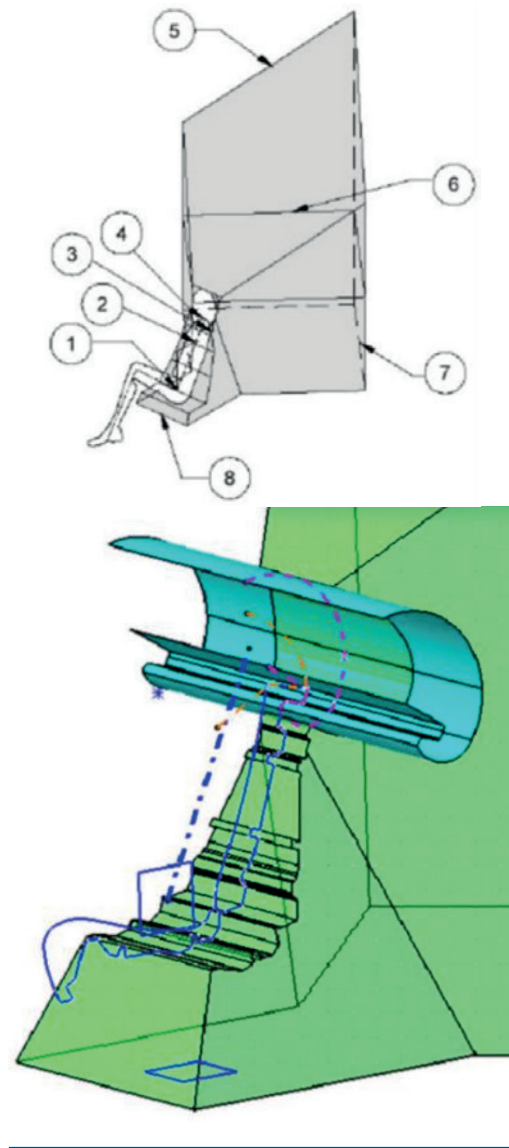


Figura 3 Esempio del "Knowledge-Based Design", o KBE

2.1.2

L'educazione nei software CAD

Secondo un'analisi di Barbero et al. [3] nell'educazione uno dei migliori approcci alla modellazione è quello pratico, poiché nell'insegnamento è stato dimostrato che gli studenti sono in grado di rielaborare gli errori commessi in una conoscenza strategica, strutturando così attraverso esercizi pratici la mente degli studenti ad una modellazione basata su regole generali derivate dall'esperienza. Gli autori la chiamano "conoscenza strategica", perché a differenza della usuale conoscenza procedurale delle operazioni, mira ad applicare regole per poter dare una descrizione più fedele dell'intento progettuale nel modello.

"Dobbiamo tenere presente che gli studenti in classe intraprendono percorsi diversi per progettare lo stesso modello in CAD, perché non esiste una metodologia CAD generale. Producono la stessa parte, rispettando la definizione del problema (viste e dimensioni), ma in modi diversi" [3]. Diventa chiaro quindi come gli autori suggeriscano nell'insegnamento un approccio basato sull'applicazione di regole generali apprese attraverso esempi pratici.

Chester & Gaughran [4] hanno affrontato la differenza tra l'uso della modellazione basata sulla conoscenza dei comandi e la modellazione strategica realizzando uno studio. La modellazione procedurale è semplicemente una modellazione basata sulla conoscenza da parte del progettista dei comandi e delle operazioni nel software, mentre la modellazione strategica si basa sulla conoscenza di quando e perché usare un comando piuttosto che un altro. Lo studio condotto dai due autori ha dimostrato che la modellazione strategica è la più efficace delle due e

che gli studenti meno esperti in modellazione CAD hanno maggiori probabilità di ottenere risultati migliori. A questo punto è necessario introdurre alcuni concetti che verranno spesso citati in questo studio, come l'intento progettuale, la robustezza del modello e la flessibilità del modello.

L'intento progettuale può essere descritto come la fedeltà con cui le restrizioni tecniche e dimensionali del progetto sono state rappresentate nel modello attraverso l'uso di schizzi, operazioni, vincoli, parametri, ecc. La robustezza, invece, si riferisce alla capacità di un modello di resistere a qualsiasi cambiamento nel progetto, mentre la flessibilità consiste nella capacità di adattarsi a qualsiasi cambiamento nel modo più malleabile possibile, sempre rispettando la robustezza e la rappresentazione dell'intento progettuale. Questo aiuta a capire, come già affermato da Barbero et al. [5], che la presenza di queste qualità nel modello è di vitale importanza per ottenere la riusabilità del modello stesso, richiedendo una conoscenza strategica della modellazione per poter attribuire queste capacità al modello attraverso il processo di costruzione.

Prendersi del tempo per pensare prima di iniziare il lavoro può certamente aiutare a costruire il modello secondo una logica strategica che, con l'obiettivo di dare robustezza e flessibilità ai modelli, la rende una delle armi a disposizione dei progettisti per ottenere la riusabilità dei modelli. La chiave è pensare e concentrarsi sempre sul processo di sviluppo del prodotto; bisogna pensare all'origine delle parti, ai loro modelli e proprietà simmetriche, alle operazioni di base come estrusione con cui si ottengono le rappresentazioni

geometriche 3D, alle curve necessarie e agli schizzi che devono essere utilizzati per creare le caratteristiche geometriche di base [6].

Secondo gli autori [3], gli esercizi volti ad insegnare una strategia di modellazione dovrebbero essere strutturati sulla base del fatto che realizzare un intero oggetto da zero risulta ad oggi il modo migliore per insegnare una strategia di modellazione. Per mezzo di esercizi pratici, è possibile insegnare non solo il funzionamento dei comandi presenti nel software, ma viene fornita la possibilità agli studenti di memorizzare percorsi strategici di modellazione che hanno trovato efficaci in determinate situazioni.

2.1.3

Conclusioni dell'introduzione

In questa introduzione è stato osservato come i software parametrici associativi siano i più utilizzati nell'industria; tuttavia, in uno studio sulla riusabilità dei modelli è stato dimostrato come molte volte solo il progettista creatore del modello sia in grado di apportare le modifiche. Questo dimostra come le aziende non sono in grado di gestire i processi di sviluppo in modo efficiente, poiché in un ambiente aziendale dove lo scambio dei modelli è frequente e dove molti soggetti possono intervenire nella progettazione di un prodotto, la creazione di un modello riutilizzabile e comprensibile è un punto decisivo per l'ottimizzazione dei tempi e dei costi.

Nella descrizione del Product Lifecycle Management data da Bodein et al. [1] è stato possibile notare che tra i 5 elementi principali che cita, compare l'utilizzo di metodologie avanzate.

Questo è utile per spiegare che non solo una metodologia avanzata è necessaria per aumentare la riusabilità dei modelli, ma non può essere una soluzione esaustiva, ci sono altri elementi da prendere in considerazione.

La standardizzazione, la compatibilità, la facilità di collaborazione e il riutilizzo dei modelli sono tutti aspetti fondamentali del Product Lifecycle Management che l'educazione al software 3D dovrebbe prendere in considerazione.

Strutturare la mente degli studenti non solo sulla creazione di modelli ma anche sulla riusabilità, definire standard generali di modellazione coerenti con i processi di progettazione e sviluppo del prodotto, sono obiettivi di interesse comune al mondo dell'istruzione per preparare gli studenti alla realtà industriale, e allo stesso campo industriale interessato a ottimizzare non solo la riusabilità dei modelli ma anche i tempi di formazione degli specialisti del settore. La conoscenza strategica è chiaramente la direzione corretta da prendere per strutturare le menti dei progettisti che utilizzano software CAD parametrici associati a compatibilità e riusabilità.

2.2

La riusabilità nei modelli CAD

La riusabilità è un argomento molto discusso nella letteratura perché, come è evidente dall'analisi della modellazione CAD nell'industria e nell'istruzione, gioca un ruolo fondamentale. In questo studio si è deciso di guardare alla riusabilità nell'aspetto più ampio del suo significato; non solo come la realizzazione di modifiche nei file CAD, ma come una presenza costante nella progettazione di un oggetto dalla sua creazione alla sua produzione.

La forte pressione sulle aziende di ingegneria per fornire prodotti migliori in modo più veloce e più economico sta dando al riutilizzo del design un ruolo essenziale nel raggiungimento di questo obiettivo. In teoria, i moderni sistemi CAD permettono la riutilizzabilità degli elementi CAD esistenti, sia come modelli per nuove versioni e configurazioni di design sia come punto di partenza per lo

sviluppo di nuovi prodotti. Tuttavia, il grado di riutilizzabilità di un modello CAD dipende fortemente dalla metodologia di modellazione e dalla corretta definizione e comunicazione dell'intento progettuale piuttosto che dalla tecnologia [7]. A questo punto diventa chiaro porsi la domanda se durante la creazione di un file CAD la preoccupazione nel rendere il file riutilizzabile è rivolta alla possibilità di apportare modifiche al modello nelle fasi di sviluppo dello stesso o se l'intenzione è quella di poterlo riutilizzare in futuro come punto di partenza per nuovi progetti. Diversa è la necessità di un file riutilizzabile per poterlo riutilizzare in futuro e ancor più la necessità di un file facilmente comprensibile agli operatori esterni al lavoro.

"La riutilizzabilità dei modelli CAD promuove la riutilizzabilità dei progetti perché sempre più informazioni progettuali sono memorizzate nei modelli CAD e stanno diventando indispensabili per le attività di ingegneria a valle come la produzione, l'analisi ingegneristica e l'ottimizzazione" [6]. Da questo punto di vista, però, bisogna definire se per riusabilità si intende la riusabilità del modello, inteso come la sua struttura, o della conoscenza implicita presente nel modello. Un modello può non essere utilizzato in futuro perché non è esteticamente simile a quello che deve essere creato, ma può contenere informazioni utili a livello semantico per la creazione di un modello esteticamente diverso ma funzionalmente simile. Tuttavia, è necessario che il modello precedente sia stato modellato pensando alla necessità futura di riutilizzare la conoscenza intrinseca presente all'interno.

Come nel caso precedente "modellare", o meglio "progettare la modellazione" pensando solo al riutilizzo del modello, è differente da modellare tenendo conto della riusabilità della conoscenza che può contenere poiché richiede più lavoro durante la progettazione della modellazione. Sarebbe quindi opportuno definire questa necessità prima della progettazione della modellazione stessa.

Cheng & Ma [6] dicono che l'intento progettuale per essere accettabile, deve permettere la riusabilità dei modelli; a tal fine, le parti dovrebbero essere facilmente identificabili, i modelli facilmente alterabili, e i risultati delle alterazioni dovrebbero essere quelli previsti. In questo senso, bisogna

specificare se la riusabilità intesa come "apportare modifiche" è rivolta ai file CAD o all'intero progetto. La riusabilità dei file CAD richiede che i modelli siano robusti; dicendo robustezza di un modello CAD gli autori intendono la qualità nell'essere modificabile in una certa misura, senza rendere il modello incoerente o compromettere il modello [6]. Nel caso in cui la necessità sia quella di avere un progetto riutilizzabile, il fattore robustezza dovrebbe ovviamente essere tenuto in contocomunque, ma altri fattori come l'intuitività dovrebbero essere presi in considerazione. "Se i modelli CAD sono facili da riutilizzare, i benefici derivati da questi modelli saranno maggiori. Per fare questo, la condizione è che altre persone devono trovare le metodologie per la loro produzione facilmente comprensibili e devono poter modificare facilmente questi modelli" [3]. La definizione di Barbero et al. illustra come,

indipendentemente dall'esigenza di riusabilità di cui si ha bisogno, è importante capire che riutilizzabile significa anche "facile da usare". Quindi, prima di chiedersi come rendere un modello CAD facile da usare, sarebbe bene chiedersi che tipo di esigenza di riusabilità si ha bisogno, dato che ogni esigenza ha i suoi vincoli e quindi le sue difficoltà, sarebbe bene sapere in anticipo che tipo di riusabilità si sta cercando di "semplificare". Indipendentemente dal fatto che l'esigenza di riusabilità sia finalizzata solo al rendere il file facilmente modificabile per se stessi o per persone esterne alla modellazione, o che si voglia rendere riutilizzabile solo i singoli componenti individualmente o la conoscenza dell'intero progetto, è necessario che la strategia di modellazione utilizzata sia facilmente comprensibile e modificabile. Per fare questo quindi, è necessario definire una metodologia.

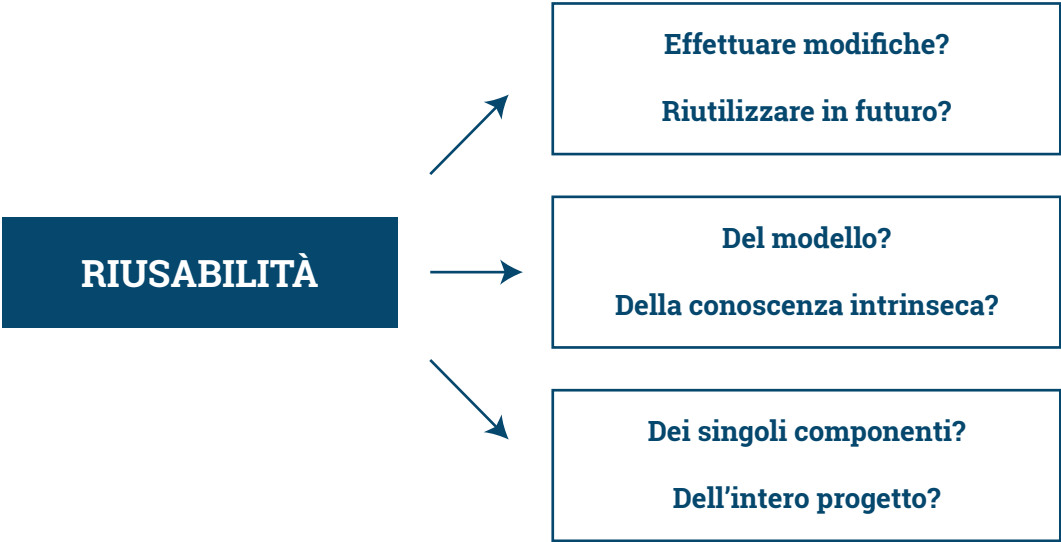


Figura 4 Possibili esigenze di riusabilità

2.2.1 Metodologie di modellazione

Come illustrato precedentemente, le aziende utilizzano da tempo strategie di modellazione adattate alla loro produzione, ma è difficile ottenere informazioni su di esse. Tuttavia, alcuni autori hanno pubblicato metodologie di modellazione CAD illustrando il loro potenziale ed il loro funzionamento. Per la rappresentazione della geometria nello spazio di lavoro si utilizzano associazioni tra elementi 2D ed operazioni per dare forma alle caratteristiche; la relazione generata tra gli elementi che costruiscono la forma ed il loro ordine nel modello, sono rappresentati nell'albero di montaggio che è uno dei maggiori responsabili della comunicazione dell'intenzione progettuale all'interno del modello. L'albero di montaggio, o albero delle operazioni, grazie alle relazioni che presenta tra le varie operazioni, permette di effettuare modifiche "intuitive" dove la propagazione di un elemento modificato influenza tutte le operazioni correlate. Per garantire un'esecuzione ottimale di un modello che risponda alle modifiche come desiderato, è necessario pensare in anticipo cosa si vuole rappresentare e quale strategia di modellazione è meglio utilizzare [1]. Nei passi seguenti verranno illustrate 3 metodologie di modellazione CAD per modelli creati prevalentemente attraverso solidi note per essere studiate in letteratura e ritenute valide, soggette a più studi che le confrontano tra loro. Le tre principali strategie di modellazione sono la "Delphi's Horizontal Modeling" [8], la "Explicit Reference Modeling" [9] e la "Resilient Modeling Strategy" o RMS [10], le quali vengono illustrate seguendo un articolo dove viene illustrato un test di

comparazione tra le tre metodologie effettuato da Camba et al. [11].

2.2.2 Delphi's Horizontal Modeling

La Horizontal Modeling è l'unica delle metodologie illustrate ad essere stata brevettata. Originariamente creata e sviluppata da Dephi Technologies Inc, è stata poi brevettata da Landers & Khurana [8]. L'elemento principale di questa metodologia si trova nella decisione di eliminare la parentela tra le caratteristiche geometriche 3D; anche se ogni caratteristica 2D dà forma alle caratteristiche 3D, eliminando la parentela diretta tra tutte le caratteristiche si evita la possibilità di dover influenzare elementi indesiderati nelle modifiche del design. Per evitare qualsiasi tipo di parentela tra le caratteristiche create, vengono utilizzati nuovi piani di riferimento per ogni caratteristica 2D, in modo che ogni caratteristica geometrica facente parte della geometria totale rimanga indipendente dalle altre. È proprio dalla decisione di modellare ogni caratteristica in modo indipendente ed allo stesso livello di parentela delle altre da cui deriva il nome "orizzontale". In questo modo, gli autori eliminano la possibilità di incorrere in un'eliminazione indesiderata di alcuni elementi dopo una modifica. Inoltre, poiché la struttura orizzontale rende il modello facile da leggere, ciò rende la metodologia molto preziosa dal punto di vista dell'interconnettività in un ambiente di lavoro, grazie alla sua facilità d'uso e di comprensione. Tuttavia, per quanto riguarda il

problema della semplicità di comprensione dell'albero di montaggio, bisogna dire che le dipendenze padre/figlio sono necessarie in una strategia di modellazione CAD che mira alla corretta rappresentazione dell'intento progettuale, cioè la corretta propagazione delle modifiche tra gli elementi dell'albero di montaggio. La Horizontal Modeling nasce da alcune esigenze specifiche del suo produttore, che non tengono conto delle diverse possibilità ed esigenze che una metodologia generale di modellazione CAD dovrebbe essere in grado di soddisfare.

modellazione. Di solito per la creazione di un vincolo è possibile utilizzare una nuova caratteristica geometrica 2D oppure una geometria esistente. Lo studio condotto dagli autori si basa sul fatto che l'utilizzo di una geometria esistente per la creazione di un nuovo vincolo spesso crea molti problemi. Per questo motivo si pensa che categorizzare i vincoli ed utilizzarli in riferimento alla esigenza in modo appropriato possa essere una soluzione. Spesso creare un vincolo sulla geometria esistente non è la soluzione migliore, per questo si ritiene possibile utilizzare un altro riferimento

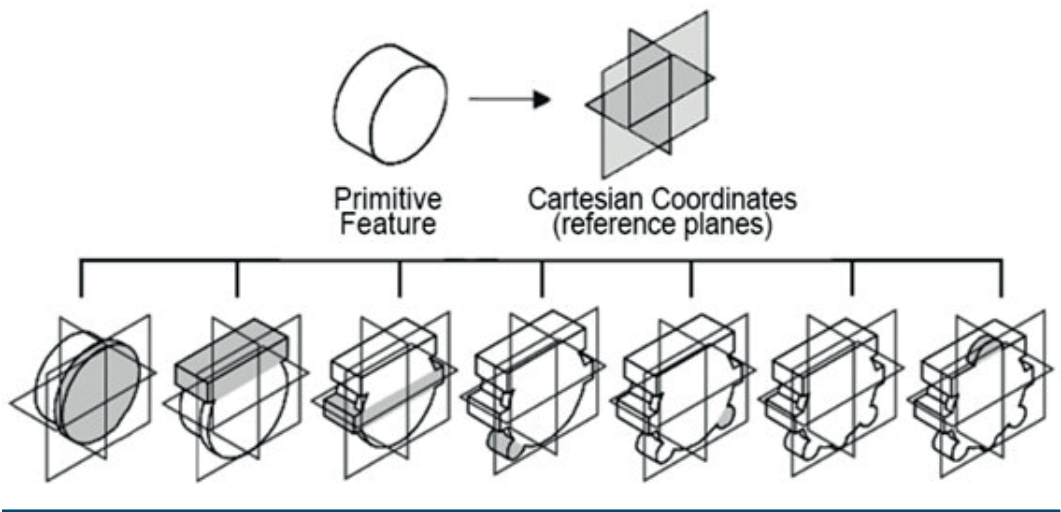


Figura 4 Delphi's Horizontal Modeling

2.2.3
Explicit Reference Modeling

La Explicit Reference Modeling si basa sulla gestione esplicita dei riferimenti tra le caratteristiche della geometria dopo uno studio dei possibili vincoli che possono essere necessari durante la

(piano, punto, linea) per evitare modifiche indesiderate dovute a relazioni di contagio. La metodologia presentata propone come soluzione la categorizzazione dei vincoli in due gruppi: la "categoria I" comprende tutti i vincoli che possono non essere collegati alla geometria

esistente. Questo permette di mantenere le operazioni il più vicino possibile al corrispettivo vincolo, rendendo possibile una facile lettura dell'albero di montaggio. Rimane responsabilità del progettista scegliere in quale delle due categorie collocare ogni vincolo e come gestirli; si potrebbe dire in questo caso, più che una metodologia di modellazione CAD, si tratta di una "strategia" di modellazione dove, la semplice lettura dell'intento progettuale e dei vincoli tra le operazioni rendono l'albero delle operazioni facile da analizzare.

progettuale all'interno dell'albero delle operazioni. Nel primo gruppo, troviamo tutte le caratteristiche geometriche 2D utili alla costruzione del modello, anche chiamato "scheletro del modello" il quale permette la costruzione della geometria 3D del modello e si propone come ottimo strumento per la gestione delle restrizioni tra le caratteristiche geometriche. Nel secondo gruppo vengono inserite, se necessario, le caratteristiche geometriche secondarie utili alla costruzione del modello, generalmente utilizzate come

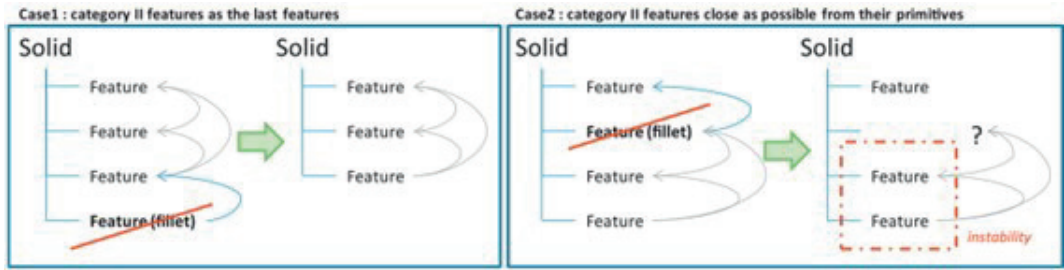


Figura 6 Categoria II nella Explicit Reference Modeling

2.2.4
Resilient Modeling Strategy

La Resilient Modeling Strategy o RMS di Gebhard [10] è la prima delle metodologie illustrate che presenta un albero delle operazioni organizzato in cartelle, ognuna delle quali ha un nome ben preciso, un ordine preciso, con lo scopo di dividere le operazioni che partecipano alla creazione della geometria del modello in diverse categorie, distribuendo le operazioni in base alla loro volatilità e aumentando la facilità di comprensione dell'intento

riferimenti. Nel terzo gruppo invece, vengono inserite tutte le operazioni utili alla costruzione della forma tridimensionale del modello. Le operazioni, saranno una conseguenza della rappresentazione dell'intento progettuale rappresentato nello scheletro; questo per sottolineare l'importanza dello scheletro del modello e la necessità di progettare pensando in anticipo a quali operazioni verranno utilizzate successivamente per la creazione della geometria 3D. Nel quarto gruppo, seguendo la logica di disposizione delle operazioni secondo

Il quinto gruppo, se necessario, può essere utilizzato per aggiungere elementi geometrici finali al modello. Il sesto gruppo, se necessario, viene utilizzato per le operazioni di simmetria del modello o parti del modello. Nel settimo gruppo vengono collocate tutte le operazioni di finitura del modello, come filetti e smussi. L'ottavo gruppo invece, viene utilizzato come cartella per eventuali modifiche future al modello.

2. Riutilizzo della conoscenza del prodotto nel modello;
3. Riutilizzo dell'intero progetto.
- Indipendentemente dalle esigenze e dalle priorità di riutilizzabilità di cui un'azienda può avere bisogno nel suo sistema produttivo, il riutilizzo dei modelli, della conoscenza tecnica che i modelli hanno intrinsecamente sul prodotto e il riutilizzo dell'intero

Group	Description	Typical features	Notes
1—Ref	All "Reference" entities are first, making them available/visible to all features	Ref Bodies, Layouts, Sketches, Ref Planes, Coord Sys, Images	No solids
2—Construction	Construction features such as Surfaces or 3D Curves that will be used to define complex solid features	Surfaces, Project, Extend, 3D Curves, Trim, Split	No solids
3—Core	A "Super Based Feature" that determines the model's shape, extents, and orientation	Extrude, Sweep, Thin Wall, Revolve, Loft, Shell	Add material
4—Detail	Detail features complete the shape by only linking to the Core group	Extrude, Sweep, Hole Revolve, Loft, Thread	Remove material
5—Modify	Tilt faces and replicate features then add any "Final Features"	Draft, Pattern, Mirror, Final Features	
6—Quarantine	Volatile features that should not be parents	Chamfer, Blend, Round	Largest first

Figura 7 Divisione gruppi nella Resilient Modeling Strategy

2.2.5 Conclusioni sulla riusabilità

Dopo un'analisi teorica della riusabilità, si è cercato di definire i tipi di riusabilità secondo le necessità che possono essere richieste:

1. Riutilizzo del modello;

progetto sono obiettivi comuni a tutte le aziende, dato il notevole risparmio di tempo e costi che potrebbero portare. Le metodologie di modellazione 3D presentate mirano principalmente alla creazione di modelli mediante solidi, senza entrare nel caso specifico di modelli creati mediante superfici curve o estendersi a temi più vari come

l'apportazione di annotazioni nei modelli per ampliarne la riusabilità delle conoscenze. In ogni caso è possibile notare fattori comuni, obiettivi e vincoli che devono essere presi in considerazione quando si progetta una metodologia di modellazione CAD che possono essere raggruppati in due fattori (Figura 8):



Figura 8 Fattori rilevanti nella progettazione di una metodologia

Quando si costruiscono dei modelli CAD dovrebbero essere abbastanza robusti da far fronte ai cambiamenti. Tuttavia, non è conveniente costruire un modello che sia robusto al tal punto da aggiornarsi automaticamente quando si verificano dei cambiamenti, se non impossibile [6]. Nel caso dell'Horizontal Modeling è stato possibile notare come l'eliminazione totale dei collegamenti padre/figlio renda il modello robusto ma certamente non intuitivo, o meglio, apparentemente intuitivo; la stretta correlazione tra le operazioni che danno vita alla forma 3D e le caratteristiche geometriche 2D rende certamente l'albero delle operazioni facile da comprendere, ma non essendoci un vincolo tra gli elementi del modello la

vincolo tra gli elementi del modello la possibilità di effettuare una modifica e non essere avvisati del cambiamento/non cambiamento di uno degli elementi è molto alta. Vediamo quindi come la necessità di un modello robusto ed intuitivo non può essere risolta eliminando i vincoli tra le operazioni poichè si perderebbe il valore peculiare di un modello parametrico associativo. Nel caso della Explicit Reference Modeling, la parametrizzazione è realmente presente solo nelle caratteristiche geometriche di categoria I. La scelta di utilizzare vincoli esterni per le caratteristiche geometriche di categoria II rende sicuramente più intuitivo l'albero delle operazioni data la scelta di posizionare le operazioni dipendenti il più vicino possibile, ma anche in questo caso si tratta di un'intuitività apparente poichè se l'albero delle operazioni può essere intuitivo, lo stesso non vale per la possibilità di effettuare una modifica e non accorgersi, o non essere avvisati dal software che qualcosa è cambiato/non è cambiato. "Un modello dovrebbe essere considerato come un programma complesso senza commenti all'interno del codice che tutti i programmatori dell'azienda sono in grado di decodificare" [12]. Se è vero che le due metodologie presentate rendono l'albero delle operazioni robusto ed intuitivo, non è possibile dire lo stesso sul fatto che sia intuitivamente riutilizzabile per gli operatori esterni alla creazione, in quanto dovrebbero conoscere realmente il modello per notare le possibili modifiche/non modifiche derivanti dalla mancanza di vincoli padre/figlio tra le operazioni. Nella Resilient Modeling Strategy

invece, la presenza di tutte le caratteristiche geometriche presenti nel gruppo 1 permette un'ottima gestione della parametrizzazione e delle restrizioni tra gli elementi. La presenza di uno "scheletro" come base iniziale del modello permette di determinare con precisione i riferimenti, i parametri e le restrizioni della geometria e allo stesso tempo di organizzare la struttura dell'albero delle operazioni in cartelle secondo le necessità e la volatilità delle operazioni. A questo punto è possibile intuire che la metodologia proposta dalla Resilient Strategy soddisfa il giusto compromesso tra parametrizzazione ed intuitività, poiché la suddivisione in gruppi e la denominazione degli stessi in modo specifico rende davvero interpretabile questa metodologia anche da operatori esterni alla modellazione. Ad ogni modo, è opportuno introdurre nel tema un terzo fattore da tenere in considerazione durante la progettazione di una metodologia di modellazione CAD (Figura 9):



Figura 9 Terzo fattore utile per la progettazione di una metodologia

Uno studio condotto da Jorge D. Camba et al. [13] ha già dimostrato come la Resilient Modeling Strategy è la migliore in termini di riusabilità tra le metodologie illustrate, richiedendo il minor sforzo per comprendere l'intento progettuale. Quello che viene messo in discussione però è la fattibilità e praticità della metodologia. Anche se in termini di riusabilità risulta essere efficiente, non è stato dimostrato quanto sforzo è richiesto per la creazione di un modello complesso. Sottolineando il fatto che durante il test di comparazione effettuato da Camba et al. [13] il metodo di valutazione della complessità dei modelli utilizzati è stato ritenuto "formale", non è possibile accertare la fattibilità della metodologia per la creazione di un modello complesso. La creazione di uno scheletro del modello interamente progettato nella fase iniziale della modellazione nel caso di modelli complessi, potrebbe richiedere una gestione delle informazioni utili alla sua creazione al di là della reale conoscenza del designer, poichè dovrebbe possedere la conoscenza della geometria esatta e delle misure di ogni parte delle caratteristiche geometriche prima di iniziare la modellazione. Considerando la fattibilità della Resilient Modeling Strategy per la creazione di modelli complessi come qualcosa di indefinito e probabilmente fuori dalla portata dei meno esperti, la seguente immagine riassume i concetti ritenuti rilevanti identificati nelle metodologie studiate considerati utili per la progettazione di una metodologia di modellazione CAD, considerando la parametrizzazione come la capacità di rispondere alle modifiche secondo l'intento progettuale e l'intuitività come

la facilità di comprensione dell'albero delle operazioni (Figura 10):

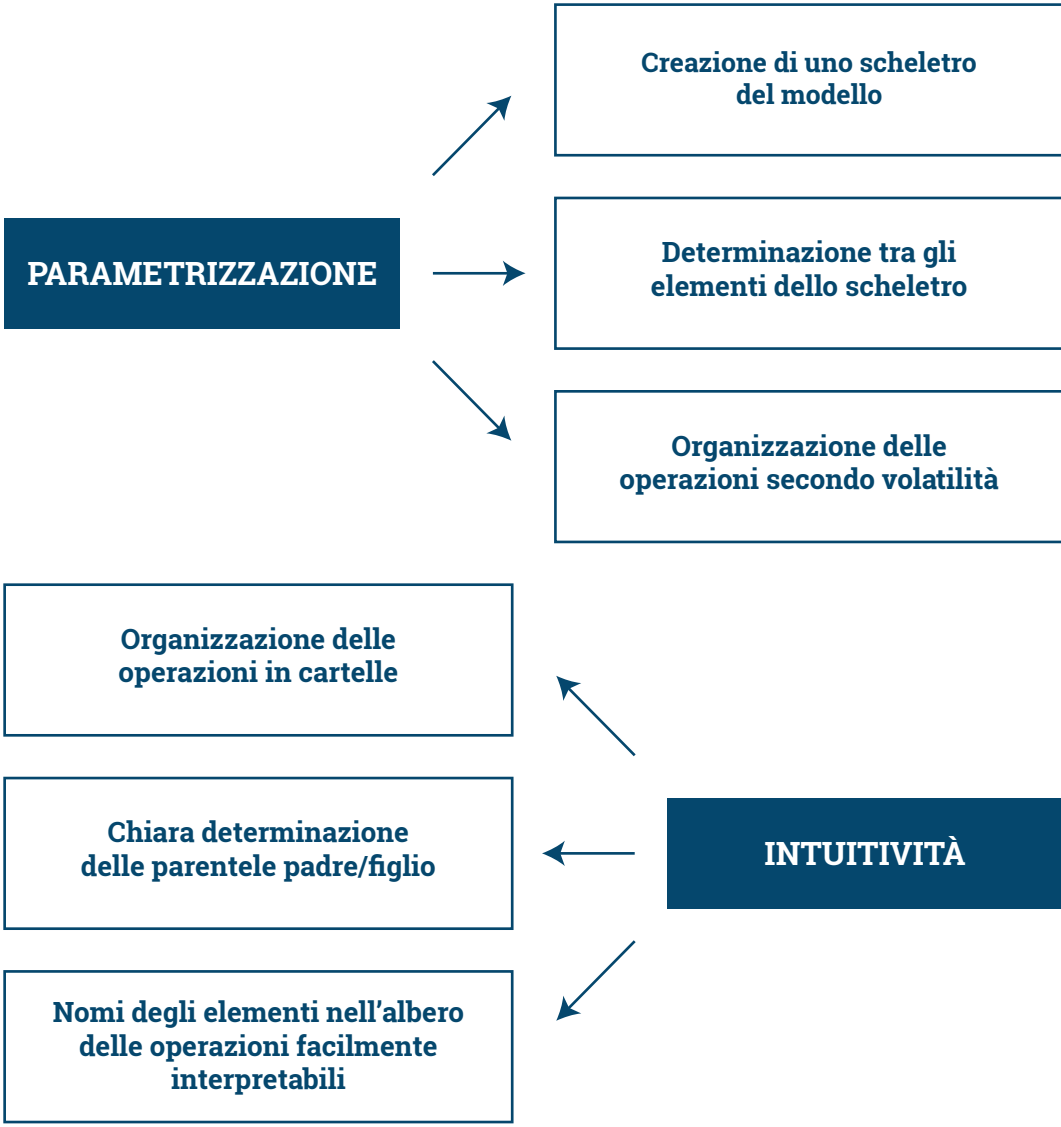


Figura 10 Concetti rilevanti estrapolati dallo studio delle metodologie

2.3

Il "design intent" nei modelli CAD

Lo studio del design Intent, o intento progettuale, viene approfondito per cercare di rispondere alla necessità di una metodologia che sia non solo ben parametrizzata e ben comunicata ma anche fattibile nel caso di modelli complessi.

"L'intento progettuale è ben trasmesso se il designer responsabile della creazione del modello conosce le diverse strategie di modellazione possibili e sa come scegliere correttamente tra esse" [5]. Quindi, non escludendo la possibilità che la soluzione proposta dalla Resilient Modeling Strategy sia valida e fattibile sino ad una certa complessità del modello, uno studio approfondito sulla comunicazione dell'intento progettuale e di quali siano gli aspetti che influiscono maggiormente la sua trasmissione può aiutare a scomporre le diverse proprietà che lo compongono in modo da semplificarne l'esecuzione.

2.3.1

Definizione dell'intento progettuale

L'intento progettuale è un concetto che non è stato realmente definito nella letteratura. Alcuni autori hanno dichiarato che una definizione formale del termine è problematica da ottenere, altri usano il termine senza fornirne alcuna definizione. Dopo una lettura delle definizioni esistenti, solo due di esse sono state riportate:

- o Il Design Intent per Otey et al. [14] viene definito come il comportamento previsto o atteso da un modello CAD dopo aver subito una modifica. Per esempio,

se due fori sono coassiali e si cambia la posizione di uno dei due fori, l'altro continuerà ad essere coassiale.

- o Iyer e Mills [15] hanno proposto la loro definizione: "L'intento progettuale corrisponde alla conoscenza dipendente dall'applicazione, del dominio e del contesto che descrive lo spazio di progettazione; rappresenta le alternative di progettazione e la storia del processo, giustifica le soluzioni e le decisioni di progettazione e determina le caratteristiche delle operazioni e le relazioni tra di esse".

La definizione di Design Intent proposta da Otey et al. [14] potrebbe essere riassunta come "il comportamento atteso dal modello dopo una modifica". Questa è una definizione comunemente accettata nella letteratura poichè spiega come il Design Intent consista nello studio degli elementi che influenzano la lettura e la comprensione del progetto, puntando all'intuitività della riusabilità. Se pur la definizione illustrata precedentemente proponga il tema della prevedibilità, la definizione di Design Intent proposta da Iyer & Mills [15] è stata ritenuta la più meritevole di approfondimento in questo studio, per cercare di scomporre gli elementi che la compongono. Quattro elementi vengono evidenziati derivanti dalla definizione di intento progettuale di Iyer & Mills:

1. La conoscenza dipendente dall'applicazione;
2. La descrizione dello spazio di progettazione;

3. La rappresentazione della storia del processo;

4. La determinazione delle relazioni.

La conoscenza dipendente dall'applicazione è intesa come l'elemento utile per la descrizione dello spazio di progettazione, che mira alla rappresentazione della storia del processo per ottenere una determinazione delle relazioni giustificata dalle soluzioni e decisioni di progettazione.

Tenendo conto degli elementi che si sono dimostrati validi per una metodologia di modellazione CAD durante lo studio della riusabilità (Figure 10), il metodo per la rappresentazione della storia del processo si conferma come la creazione dello scheletro del modello, al quale verranno collegate le operazioni secondo volatilità e disposte in gruppi progettati in anticipo per migliorarne l'intuitività.

Per quanto riguarda la determinazione delle relazioni invece, nel caso della RMS il criterio di determinazione delle relazioni tra la rappresentazione del processo e le operazioni utilizzate è determinato dal tipo di operazioni. Quello che la definizione dell'intento progettuale di Iyer & Mills suggerisce invece, è che la determinazione delle relazioni dovrebbe essere giustificata da soluzioni e decisioni progettuali. La determinazione delle relazioni in base alla volatilità delle operazioni è certamente un elemento da tenere in considerazione, ma non può essere l'unico; la proposta di selezionare le "decisioni progettuali" come criteri di determinazione delle relazioni è certamente valida.

Ora è possibile stabilire come la conoscenza dipendente dall'applicazione che viene intesa come l'elemento utile alla descrizione dello spazio di progettazione, è in riferimento alla conoscenza delle decisioni di progettazione. A questo punto, mantenendo come definizione di "intento progettuale" quella di Iyer & Mills [15], si propone una definizione personale per descrivere "lo studio dell'intento progettuale" che verrà utilizzata come punto di riferimento per il proseguimento di questo studio:

"Lo studio e l'acquisizione, previo la modellazione, di tutte le informazioni utili alla rappresentazione dello spazio progettuale, in funzione della loro applicazione".

2.3.2
L'intento progettuale dipendente dall'applicazione

Se l'intento progettuale è il risultato dell'identificazione delle informazioni utili prima della modellazione, durante un possibile studio sulla riusabilità dei modelli potrebbe essere possibile studiare se la strategia di modellazione utilizzata per descrivere l'intento progettuale è corretto ma non potrebbe essere possibile studiare se il processo mentale di identificazione delle informazioni utili è altrettanto corretto. A questo punto, bisognerebbe chiedersi come lo studio della sola riusabilità dei modelli possa essere esaustivo e come possa dare risultati concreti e utili. Considerando quanto affermato da Barbero et al. [3], l'approccio giusto per migliorare l'intento progettuale non sarebbe nel modello ma nelle informazioni fornite al designer per poterlo progettare strategicamente. In questa sezione quello che vogliamo fare è cercare di approfondire gli elementi citati nella definizione di intento progettuale considerati rilevanti nello studio dello stesso, poiché nei modelli CAD l'intento progettuale è solitamente espresso in modo implicito. Secondo Company et al. [16], i tre blocchi elencati di seguito sono i principali per misurare l'intento progettuale:

- o L'albero delle operazioni descrive le parti e le loro funzionalità;

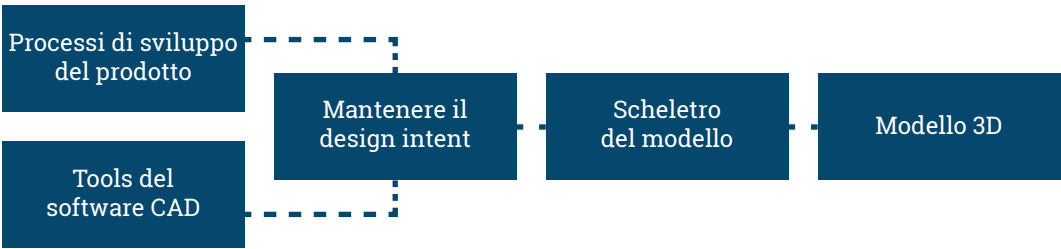


Figura 11 Elementi di input ed output illustrati da Barbero el al.

- o La modellazione è fatta in modo da evitare la perdita di informazioni di progettazione;
- o Il modello deve essere flessibile e robusto allo stesso tempo.

L'albero delle operazioni o l'albero storico del modello offre implicitamente una rappresentazione dell'intento progettuale, ma non tutte le informazioni sull'intento progettuale sono visibili e facilmente comprensibili dall'albero delle operazioni; per esempio, il vincolo di concentricità in uno schizzo è visibile nell'albero, ma è difficile e richiede tempo conoscere gli elementi fisici tra cui esiste questa relazione. Barbero et al. [3] hanno spiegato il processo di pensiero che gli studenti devono seguire prima di poter completare il processo di modellazione. Hanno diviso il processo di modellazione dell'intento progettuale in due elementi:

1. Elementi di input: Il processo di sviluppo del prodotto, le regole di progettazione e gli strumenti CAD;
2. Elementi di output: Lo scheletro del modello e la struttura ad albero delle operazioni.

Anche se il processo di input non è stato ancora illustrato in modo pratico nella letteratura ma solo in modo teorico, nei passi seguenti verranno espone soluzioni proposte da autori che hanno studiato la rappresentazione dell'intento progettuale in un approccio funzionale.

2.3.3
Strategia di modellazione funzionale

In questa sezione verrà illustrata la strategia di modellazione CAD proposta da Cheng & Ma [6], basata principalmente sullo studio della decomposizione del modello in parti funzionali. Questa strategia si basa sul concetto che i progettisti dovrebbero essere consapevoli di quali elementi saranno modificati in futuro, al fine di poter costruire un modello robusto ed intuitivo nei limiti in cui è necessario per la riusabilità. Per fare questo, la strategia di modellazione proposta suggerisce un'analisi funzionale, poiché di solito in campo industriale, è dalle parti funzionali e dagli elementi che collegano le diverse funzioni che provengono i principali cambiamenti. Inoltre, l'utilizzo di un approccio funzionale alla modellazione propone automaticamente una logica intuitiva per la costruzione del modello nell'albero delle operazioni, poiché può essere scomposto nelle sue funzioni e sottofunzioni individuate [6]. Quanto proposto si basa sul concetto che le fonti delle modifiche progettuali corrispondono quasi sempre alle funzioni del progetto/prodotto o alle relazioni tra le funzioni; tuttavia, quando

si tratta di un modello CAD, queste considerazioni e correlazioni funzionali spesso non sono sufficientemente catturate. Secondo Cheng & Ma [6] i passi utili da seguire per rispettare la loro strategia di modellazione funzionale sono:

1. Applicare approcci come QFD, DSM e AD per identificare le funzionalità dell'artefatto in questione;
2. La conoscenza del dominio deve essere ricavata da esperti o da documenti esistenti.
3. Le decomposizioni funzionali devono essere effettuate partendo dalle funzioni principali per poi analizzare le sottofunzioni.
4. Identificare i parametri chiave (parametri geometrici/parametri non geometrici);
5. Costruire le relazioni tra i parametri geometrici e non geometrici,;
6. Identificare le facce funzionali o altre caratteristiche geometriche chiave necessarie per eseguire le funzioni;
7. Modellare le caratteristiche geometriche astratte che rilasciano la forma del progetto,;
8. Identificare spazialmente le relazioni tra le caratteristiche geometrie astratte;
9. Combinare le caratteristiche geometriche astratte alle operazioni generali di dettaglio.

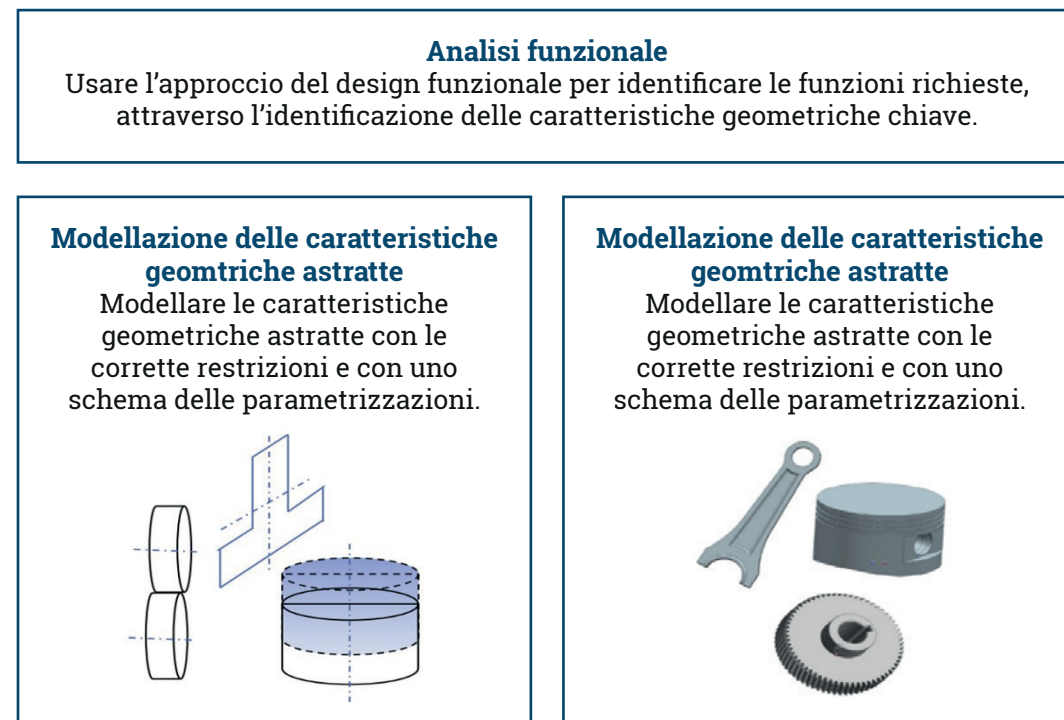


Figura 12 Strategia di modellazione Cheng & Ma

2.3.4

Analisi del caso studio Cheng & Ma

L'analisi sul caso studio in questione viene effettuata cercando di trarre conclusioni utili separando le nozioni impartite dal caso specifico utilizzato da Cheng & Ma, che è un pistone per un albero motore (Figura 13), cercando di racchiudere le fasi analizzate in concetti più ampi e generali per valutare se possano essere utili, poco utili o incomplete in coerenza con lo studio della rappresentazione dell'intento progettuale dipendente dall'applicazione intrapreso sino ad ora. Il primo passaggio introdotto da Cheng

& Ma nel loro caso studio è l'identificazione della funzione principale del prodotto. Va notato come la conoscenza del funzionamento del prodotto in questo approccio è implicita. La seconda fase è l'identificazione di tutte le altre funzioni dell'oggetto, o funzioni secondarie.

Va notato come nel caso di un prodotto facente parte di un sistema è necessario considerarlo come tale e non come un prodotto individuale, poiché potrebbero esserci delle "facce funzionali", o meglio, superfici di collegamento con altri prodotti del sistema che potrebbero avere una funzione rilevante da tenere in considerazione.

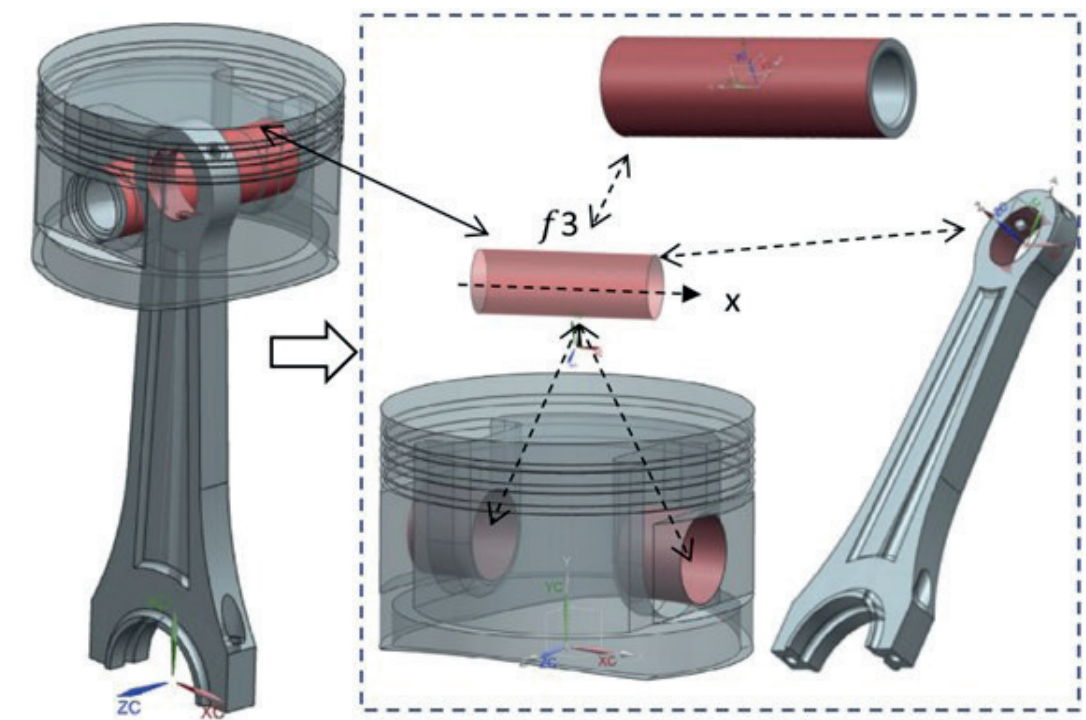


Figura 13 Pistone utilizzato nel caso studio di Cheng & Ma

Il terzo passo consiste nel modellare le caratteristiche geometriche astratte identificate durante l'analisi funzionale. L'aspetto fondamentale è che ogni caratteristica geometrica astratta sia autonoma, nel senso che sia opportunamente parametrizzata e ben vincolata agli opportuni riferimenti. Il quarto passo riguarda le relazioni spaziali delle caratteristiche geometriche astratte. Poiché sono ben vincolate e parametrizzate, sono adattabili a nuovi casi d'uso. Diversi attributi di funzione possono essere collegati poiché la stessa caratteristica geometrica astratta può portare con se diversi concetti di funzione. Tuttavia, si

deve tener conto del fatto che ogni caratteristica geometrica astratta può essere rappresentata in modi diversi (Figura 14); spetta al designer determinare quale rappresentazione cattura al meglio l'intento progettuale, raggruppando tutti i possibili concetti di funzione appartenenti alla geometria astratta in questione, tenendo conto della facilità d'utilizzo e d'interpretazione del modello. Il quinto passo risulta essere la sintetizzazione delle caratteristiche geometriche astratte identificate nel modello. Cheng & Ma [6] sottolineano come le operazioni utilizzate per modellare le caratteristiche

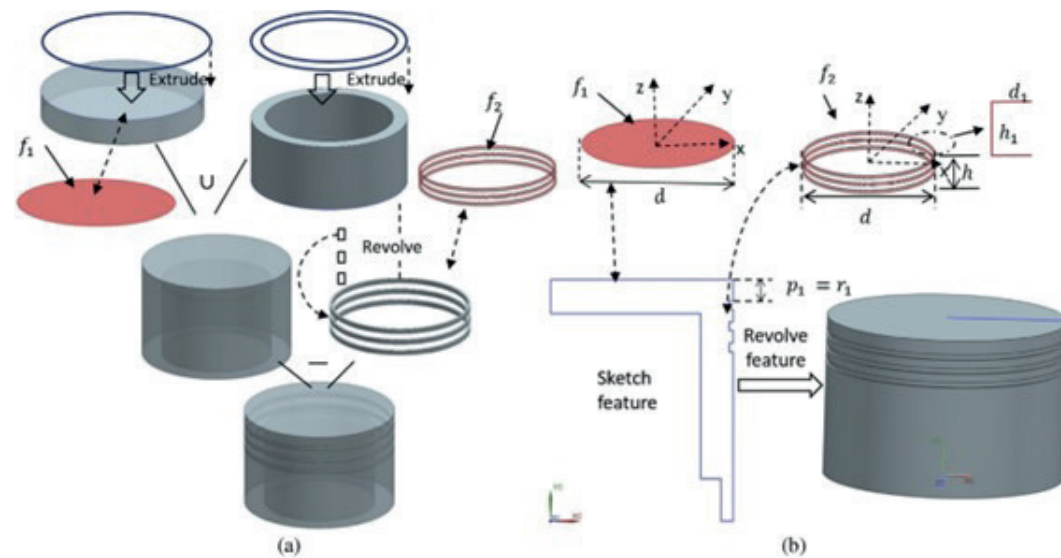


Figura 14 Strategie di modellazione per caratteristiche geometriche astratte

geometriche astratte sono selezionate al solo fine di creare una forma generica del modello, il che significa che altri tipi di operazioni potrebbero essere probabilmente utilizzate per creare la geometria dettagliata. Inoltre, anche considerando lo stesso punto di partenza delle caratteristiche geometriche astratte, la varietà di percorsi possibili per la modellazione della geometria dettagliata è molto varia, motivo per cui si è deciso di approfondire più da vicino le caratteristiche geometriche astratte e come influenzano la selezione delle operazioni successive.

2.3.5

Le caratteristiche geometriche astratte

La funzione della caratteristica geometrica astratta proposta dagli autori è usata per racchiudere il maggior numero di funzioni e sottofunzioni identificate nell'analisi funzionale nel minor numero di forme geometriche semplici possibili. Questa astrazione delle forme del modello in geometrie elementari aiuta la configurazione delle restrizioni tra le caratteristiche geometriche dettagliate ed aumenta l'efficacia delle restrizioni imposte facilitandone la comprensione.

La differenza sostanziale tra le classiche caratteristiche di forma del modello e le caratteristiche geometriche astratte è che le caratteristiche geometriche astratte probabilmente non daranno forma alla geometria

dettagliata del modello, ma saranno utilizzate solo come riferimento per la gestione delle varie caratteristiche che compongono la geometria dettagliata. In ogni caso, le caratteristiche geometriche astratte così come quelle tradizionali hanno bisogno di riferimenti, parametri e vincoli per la loro creazione, i quali devono essere riassunti al minimo indispensabile, cercando di individuare quei punti chiave che possano catturare più funzioni e sottofunzioni in un'unica forma [6].

Per poter individuare le caratteristiche geometriche astratte nel modello che si intende creare, è necessario effettuare un'astrazione della sua forma finale in forme geometriche semplici. La capacità spaziale e di astrazione dei designer nel saper scomporre un oggetto in forme semplici è fondamentale nell'esecuzione di questo

processo. Come illustrato nella strategia proposta dagli autori, la capacità di decostruire un modello in forme semplici è difficile da teorizzare, non essendo possibile stabilire un processo di decostruzione valido per ogni oggetto. Per questo motivo, vengono proposte alcune linee guida utili in questa fase:

- La caratteristica geometrica astratta deve anche occuparsi di catturare le funzioni cinematiche del modello (ingranaggi, ecc.);
- La caratteristica geometrica astratta viene utilizzata per catturare più funzioni in un'unica forma semplice;
- La caratteristica geometrica astratta ha come obiettivo principale quello di catturare le forme funzionalmente utili.

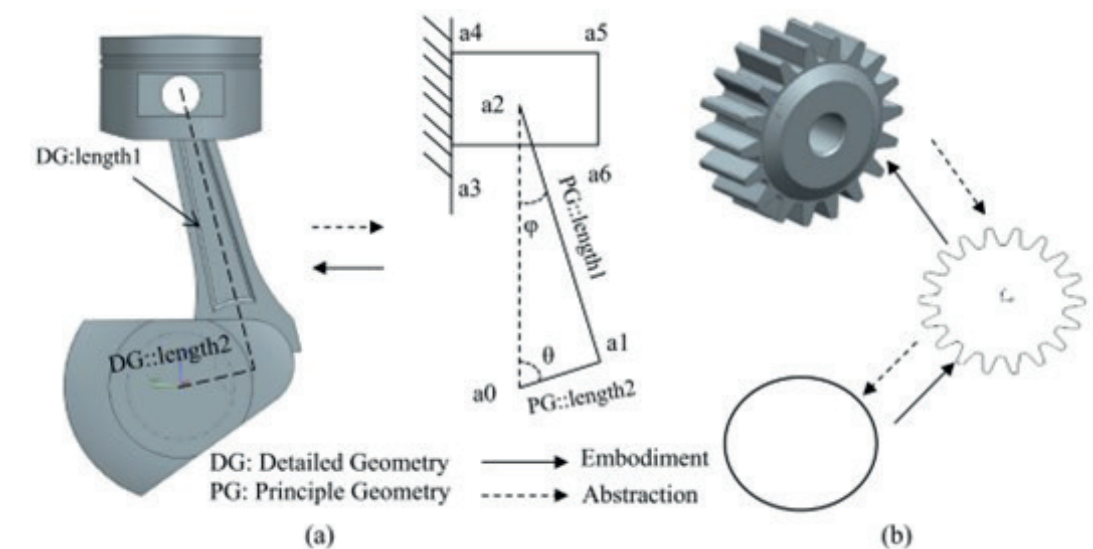


Figura 15 Astrazione cinematica e sviluppo della geometria, Cheng & Ma

2.3.6

Conclusioni dell'intento progettuale

Definendo questo studio come l'acquisizione dei concetti più importanti prima della modellazione, si è cercato di acquisire informazioni riguardanti il materiale fornito ai progetti prima della modellazione, poiché secondo gli autori [3] il giusto approccio per migliorare il Design Intent è nelle informazioni fornite al progettista. Se è vero che la modellazione deve essere fatta in modo da non perdere le informazioni progettuali, è anche vero che per definire una strategia utile a non perdere informazioni di progettazione è doveroso sapere qual è il punto di partenza del progettista, se non indispensabile. Tuttavia, è noto che in campo industriale ogni azienda utilizza i propri metodi di rappresentazione e tende a non divulgarli; questo chiarisce la necessità di porsi come obiettivo la creazione di una strategia di acquisizione delle informazioni più rilevanti prima della modellazione che sia generale ed applicabile a più punti di partenza (documenti/brevetti).

Certamente, l'approccio utilizzato da Cheng & Ma [6] per l'acquisizione delle informazioni rilevanti basate sulle considerazioni funzionali è da prendere in considerazione. Poiché le fonti delle modifiche progettuali risiedono solitamente nelle caratteristiche funzionali del prodotto, la modellazione basata su di un'analisi funzionale permetterebbe al progettista di creare un modello modificabile laddove realmente necessario, creando un ottimo punto di partenza per la creazione di un albero delle operazioni intuitivo e coerente con l'intento progettuale.

Tuttavia, nel caso studio presentato da Cheng & Ma, anche se utile per

comprendere la strategia di modellazione CAD presentata, non è stato realmente possibile trarre conclusioni oggettive che potessero essere applicate in modo autonomo e strategico durante la modellazione di qualsiasi prodotto. Poiché non è stato fatto alcun riferimento all'uso dei sistemi QFD, DSM e AD citati come utili per l'identificazione delle funzioni del prodotto, non è stato definito l'uso di questi sistemi all'interno della loro strategia, lasciando libera interpretazione al loro utilizzo in questo caso specifico. Allo stesso modo, poiché non viene fatto alcun riferimento alla conoscenza del dominio posseduta dagli autori in riferimento al caso studio in questione (Figura 13), diventa complesso standardizzare il processo di astrazione utilizzato dagli autori. Nel caso studio presentato, l'analisi funzionale viene concepita come un'elaborazione concettuale degli autori, che analizzano il prodotto da un punto di vista funzionale traendo conclusioni sulla decomposizione in funzioni secondo la loro conoscenza tecnica del prodotto in questione. Ciò evidenzia come, per l'applicazione di una strategia di modellazione basata su di un'analisi funzionale, il progettista deve essere a conoscenza di tutte le dimensioni, di tutte le restrizioni di fabbricazione e funzionalità del prodotto, così come della loro esatta funzione meccanica e cinematica prima della modellazione. Poiché questo è un limite già riscontrato nella Resilient Modeling Strategy [10], potremmo a questo punto definire come per la progettazione di una metodologia di modellazione CAD standardizzata e funzionale sia indispensabile essere a conoscenza di tutti gli aspetti

geometrici e funzionali del prodotto che si andrà a modellare prima della sua creazione.

L'analisi funzionale viene effettuata per rendere possibile la creazione di caratteristiche geometriche astratte che devono comprendere vari concetti di funzione per poter ottimizzare la parametrizzazione e le restrizioni nel modello tra funzioni principali e sottofunzioni. Tuttavia, anche questa fase ha molti aspetti di una progettazione concettuale. Cheng & Ma ammettono che per la creazione di caratteristiche geometriche astratte ci sono diverse strategie percorribili (Figura 14), sia nella selezione delle facce funzionali che nella scelta delle operazioni da utilizzare per la creazione della geometria dettagliata. Lo stesso problema è stato presentato in uno studio di Otey et al. [17] (Figura 16).

Nell'esempio viene mostrata una forma cilindrica con un foro concentrico disegnata utilizzando due diverse strategie di rappresentazione delle caratteristiche geometriche. L'obiettivo comune per entrambi gli approcci è quello di creare un vincolo che sappia rappresentare al meglio la restrizione

data dalla concentricità dei due cilindri. Nel primo caso troviamo un vincolo di concentricità tra due cerchi nello sketch 2D che verrà utilizzato per garantire questa restrizione, dando poi forma all'oggetto tramite estrusione. Nel secondo caso, la forma dettagliata della geometria viene creata per mezzo di un rettangolo elementare che, ruotato intorno ad un asse crea la forma finale. Secondo gli autori, la seconda opzione è meno intuitiva poiché non rappresenta esplicitamente la forma cilindrica dell'oggetto, ma al contrario evidenzia la presenza dell'asse di concentricità tra i due cilindri. In generale, si dovrebbe scegliere l'approccio che offre la maggior possibilità di racchiudere diverse funzioni e sottofunzioni in un'unica caratteristica geometrica astratta, in modo da conferire il maggior numero di restrizioni nel minor numero di elementi. In ogni caso, sarebbe consigliabile configurare una strategia utile all'identificazione delle superfici funzionali più idonee per eseguire le funzioni.

Nella Figure 17, Cheng & Ma vogliono mostrare la usuale incongruenza tra una strategia di modellazione procedurale

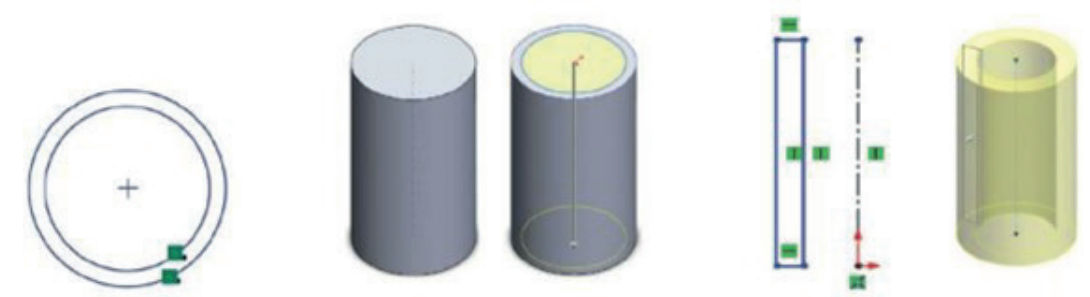


Figura 16 Differenti approcci di comunicazione delle restrizioni, Otey et al.

(classica) e la rappresentazione dell'intento progettuale nell'albero delle operazioni. Secondo gli autori, un approccio di modellazione CAD procedurale non è vicino al modo di pensare dei progettisti a causa del divario tra le forme che i progettisti hanno in mente e le operazioni di modellazione utilizzate per la loro creazione [6]. Per questo motivo, ritengono che una strategia di modellazione CAD basata sulle informazioni funzionali possa anche essere una soluzione per rendere l'albero delle operazioni più intuitivo in relazione al modello. Tuttavia, né nella

spiegazione dei passaggi della loro strategia né nell'illustrazione del caso studio da loro presentato è stato possibile osservare la gestione dell'albero delle operazioni secondo la loro strategia di modellazione.

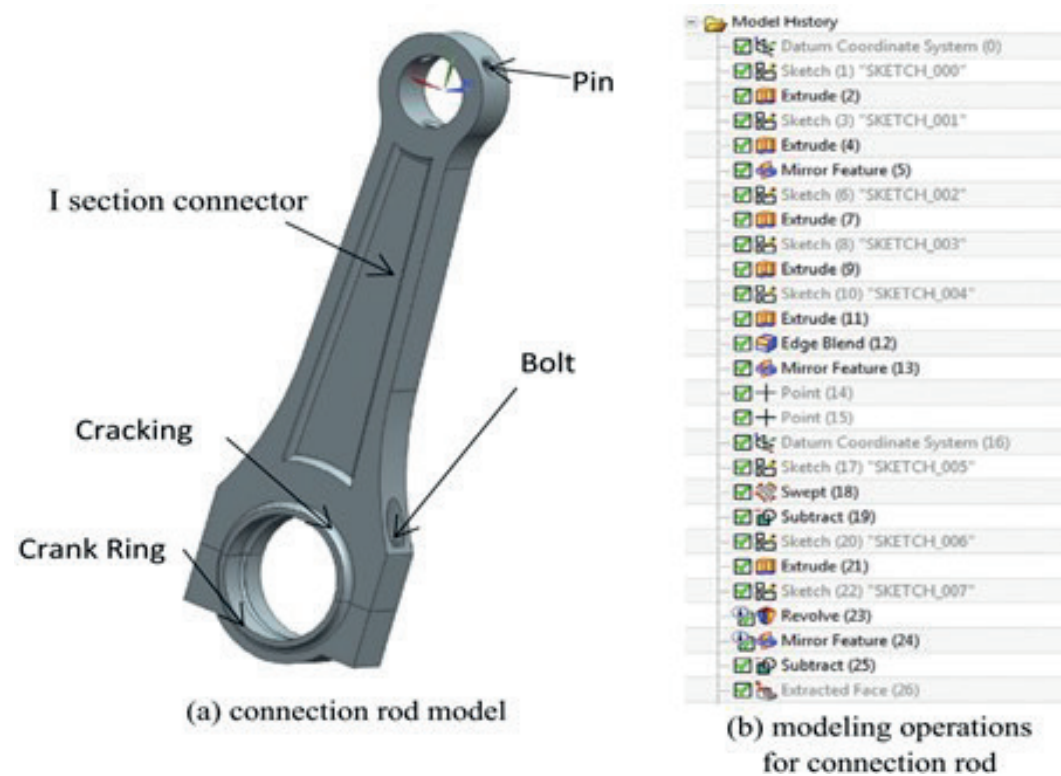


Figura 17 Incongruenza tra l'albero delle operazioni e l'intento progettuale

2.4

Conclusioni generali dello stato dell'arte

È stato possibile osservare nelle fasi iniziali di questo studio come la standardizzazione, la compatibilità, la facilità di collaborazione ed il riutilizzo dei modelli sono aspetti fondamentali del Product Lifecycle Management, mostrando la necessità di strutturare la mente degli studenti ad una conoscenza strategica dei software. L'uso della parametrizzazione entro i limiti prevedibili ed un'interfaccia intuitiva dell'albero delle operazioni porterebbe al raggiungimento dell'obiettivo secondo il quale un modello deve essere considerato come un programma complesso senza commenti al suo interno decodificabile da tutti i programmatori. In questo studio la parametrizzazione entro limiti prevedibili è già stata definita come una parametrizzazione determinata tra gli elementi dello scheletro del modello, ed un'interfaccia intuitiva dell'albero delle operazioni come un'interfaccia strutturata in cartelle strategicamente predefinite. Questa soluzione diversa da una modellazione procedurale, tuttavia, ha portato all'osservazione di molti problemi in cui potrebbero incorrere i progettisti, come la difficoltà di esecuzione nel caso di modelli complessi poiché la quantità di informazioni da dover gestire prima della modellazione diventa notevole e non esistono attualmente strategie utili al controllo dello spazio di progettazione al fine di facilitarne la fattibilità. Lo studio dell'intento progettuale e delle sue varie definizioni fornite dalla letteratura è stato intrapreso al fine di cercare gli aspetti di maggiore rilevanza per l'ottimizzazione della fattibilità nella trasmissione dell'intento progettuale all'interno dell'albero delle operazioni. L'analisi ha portato alla

conclusione che per una buona rappresentazione della storia del processo, la determinazione delle relazioni deve essere giustificata dalle decisioni progettuali, studiando ed acquisendo prima della modellazione, tutte le informazioni utili presenti nel progetto per rappresentare il modello, trasmettendo così la conoscenza del progetto in funzione della sua applicazione. Per procedere ad una strategia di modellazione CAD dipendente dall'applicazione, un buon punto di partenza è sicuramente un'analisi funzionale in quanto permette l'individuazione delle modifiche progettuali prevedibili ed aiuta alla creazione di un albero delle operazioni intuitivo e coerente con l'intento progettuale.

Per questo motivo, l'analisi funzionale e la relativa decomposizione in funzioni e sottofunzioni proposta da Cheng & Ma [6] viene presa in considerazione come un ottimo strumento per realizzare una strategia di modellazione CAD dipendente dall'applicazione. Di seguito saranno mostrate tre necessità chiave utili al conseguimento di una strategia di modellazione CAD dipendente dall'applicazione:

- o La necessità di conoscere tutte le dimensioni, restrizioni e funzioni del prodotto (statiche e cinematiche);
- o La necessità di esempi pratici per aiutare l'apprendimento della decomposizione del prodotto in funzioni, al fine di poter acquisire la capacità di saper racchiudere il maggior numero di funzioni nel minor numero di caratteristiche geometriche astratte;

- o La necessità di stabilire un criterio di organizzazione dell'albero delle operazioni in linea con la decomposizione in funzioni (interfaccia funzionale).

Indipendentemente dal tipo di dominio o di documentazione che si possiede, una strategia di modellazione CAD funzionale richiederà una conoscenza quasi totale delle dimensioni e delle funzioni di cui il prodotto sarà dotato per essere realizzata. Allo stesso modo, poiché non è possibile definire una strategia generale di decomposizione in funzioni, si ritiene essenziale creare esempi pratici per insegnare la strategia, illustrando quelli che potrebbero essere i punti chiave generali durante la decomposizione concettuale dell'oggetto.

Studio comparativo

3. Studio comparativo

Questo studio comparativo si pone come obiettivo l'acquisizione di informazioni utili per la possibile futura progettazione di una metodologia di modellazione CAD che sappia rispondere alle esigenze dettate dalla richiesta di riusabilità dei modelli in campo industriale, focalizzata sulla semplicità d'utilizzo per operatori esterni alla progettazione del modello. In particolare, lo studio di comparazione verrà effettuato su due metodologie di modellazione già presenti nella letteratura mai comparate prima tra loro, la Resilient Modeling Strategy di Gebhard [10] e la strategia di modellazione funzionale proposta da Cheng & Ma [6], le quali per renderne più semplice il riconoscimento verranno chiamate nel proseguo di questo studio come "metodologia RMS" e "strategia CHENG". Ciò che si vuole osservare nello specifico è la conoscenza presente all'interno delle due metodologie che meglio sa rispondere ai bisogni di comunicazione dell'intento progettuale, cercando tramite l'osservazione di un gruppo di partecipanti nell'apportazione di alcune modifiche su di un modello creato nelle due diverse metodologie, di acquisire come cada una renda più semplice il suo utilizzo ad utenti che non ne conoscono il funzionamento.

3.1 Strategia Cheng & Ma

Come già anticipato, questo studio è rivolto alla comparazione tra la metodologia RMS e la strategia di modellazione funzionale proposta da Cheng & Ma [6]. Se nel caso della metodologia RMS è possibile trovare

molteplici informazioni non solo sui principi cardini della metodologia ma anche su aspetti più pratici come l'esecuzione di esempi pratici e la gestione della nomenclatura, non è possibile fare lo stesso per la strategia proposta da Cheng & Ma. Per questo motivo, si è deciso di apportare gli unici elementi ritenuti mancanti in modo da poter effettuare un test di comparazione che miri ad ottenere informazioni utili non solo sulla strategia di decomposizione funzionale proposta dagli autori ma anche sulle personali proposte di gestione della nomenclatura e della comunicazione dell'albero delle operazioni, basate sulle nozioni acquisite durante lo studio della letteratura sulla rappresentazione dell'intento progettuale.

3.1.1 Nomenclatura nell'albero delle operazioni

Durante la preparazione dei due file per il test, si è prestata attenzione alla nomenclatura di tutte le operazioni e cartelle presenti nell'albero delle operazioni. Prima di tutto, ad ogni funzione è stato assegnato un numero di riconoscimento basato sull'ordine in cui è stata creata. Il numero è rappresentato all'inizio del nome di tutte le operazioni appartenenti alla funzione in questione, preceduto dalla lettera "F", in modo tale che scorrendo rapidamente l'albero delle operazioni possa essere chiaro a quale funzione si riferiscono le operazioni che si sta mirando. Va ricordato che ogni geometria gestita come una singola funzione porta quasi sempre con sé altre sottofunzioni al suo

interno, ed è compito del designer individuare le forme geometriche principali all'interno del modello che possano poi essere gestite come singoli corpi separati dal contesto. Nel caso in cui una funzione sia composta da più sketch, alla fine del nome dello sketch in questione viene posto un numero identificativo preceduto dalla lettera "C", numero che viene stabilito in ordine crescente partendo dallo sketch più interno al modello fino allo sketch più esterno. Dove possibile, un valore numerico è stato aggiunto come ultimo elemento nel nome di tutte le operazioni che possono essere identificate da un unico valore, come la circonferenza dei cerchi, i valori degli smussi, ecc. Allo stesso modo, il termine "simmetrico" è stato aggiunto alla fine dei nomi delle cartelle contenenti una funzione composta da una simmetria, nel tentativo di avvisare il partecipante che l'elemento selezionato è in parte creato attraverso una simmetria e che dovrebbe quindi prestare attenzione nel comprendere quale degli elementi presenti è il generatore della simmetria. Per quanto riguarda i piani supplementari per la creazione di caratteristiche geometriche, sono stati nominati all'inizio con il numero di riferimento della funzione a cui appartengono, e alla fine con il numero di riferimento dello sketch a cui daranno origine. Ogni piano appartenente ad una funzione è stato inserito nella cartella della funzione a cui appartiene, così come tutte le operazioni indipendenti dalle altre funzioni, compresi tutti gli smussi che non costituiscono un'unione tra più funzioni. Se è necessario durante la creazione di uno smusso dividere

l'operazione in più parti, queste devono essere numerate in ordine crescente, secondo la loro posizione nel campo visivo in senso orario, o almeno in modo tale che sia facile ricavarne la posizione di una conoscendo la posizione di un'altra. Nel caso in cui per il completamento della forma di una funzione sia necessario combinare il volume di più sottofunzioni, questo dovrà essere fatto all'interno della cartella della funzione in questione, coerentemente con l'approccio di porre nella cartella di riferimento della funzione tutto ciò che dipende dalla funzione in questione. La scelta di ciò che è più corretto considerare come un elemento strettamente appartenente alla funzione, o un elemento di unione tra più funzioni, rimane in alcuni casi una decisione del progettista. Le informazioni tecniche e produttive, come la scelta di creare uno smusso specifico per una funzione o uno smusso identico che unisce più funzioni è dovuta alle restrizioni tecniche e produttive di cui il progettista del modello deve essere a conoscenza. Sarà quindi attraverso il posizionamento che egli darà alle operazioni a comunicarne la funzione agli eventuali operatori esterni alla modellazione.

Una volta completate le funzioni, sarà possibile procedere con tutte quelle operazioni che comportano solo l'interazione tra più funzioni. In questo caso, all'inizio di ogni operazione, saranno posti i numeri di riferimento delle funzioni che interagiscono nell'operazione in questione. È quindi possibile, dopo l'illustrazione dei criteri di nomenclatura che sono stati stabiliti, cercare di capire quali sono le domande da porsi prima di iniziare la modellazione, sempre dopo la

3.2

Procedura dello studio comparativo

decomposizione funzionale, per poter creare un modello che sia in grado di rispondere a tutte le possibili modifiche in modo ordinato e pratico:

- o Quanti schizzi sono necessari per creare una data funzione?
- o Per quali operazioni è veramente utile inserire il valore numerico nel nome dell'operazione?
- o Da quale punto di vista si ottiene un quadro più chiaro della forma per deciderne l'ordine delle operazioni?
- o Quali unioni costituiscono il completamento di una funzione e quali di più funzioni?
- o Quali operazioni devono essere modificabili contemporaneamente, e quali devono essere trattate singolarmente?
- o Dove può essere vincente la scelta di utilizzare la simmetria e come rendere esplicita questa scelta agli operatori esterni alla modellazione?

Per l'esecuzione dello studio comparativo, si è deciso di selezionare un gruppo di 20 persone che hanno seguito lo stesso percorso di studi in ingegneria del design industriale qui alla Mondragon Unibertsitatea, o comunque che abbiano un livello simile di conoscenza nell'uso del software CAD parametrico associativo; in particolare quello che verrà utilizzato in questo studio è SolidWorks. Lo studio sarà realizzato nel DBZ-MU, un ambiente universitario dove è stata allestita una stazione di lavoro.

L'obiettivo dello studio è quello di identificare tra le due metodologie che si vogliono confrontare, la strategia CHENG e la metodologia RMS, quali compiti specifici richiedono un maggior carico di lavoro per ciascuna delle metodologie, riuscendo allo stesso tempo non solo ad identificare quale metodologia di modellazione delle due selezionate richiede un minor carico di lavoro in un compito specifico, ma anche a poter stabilire complessivamente quale delle due richiede in senso generale un minor dispendio energetico cognitivo per gli stessi compiti eseguiti. Questo sarà deducibile dai dati tempistici risultanti dal test e dai riscontri ottenuti dal questionario NASA TLX.

Poiché lo studio si concentra sull'esecuzione di piccole modifiche strategicamente individuate ai fini di questo studio, si è ritenuto sufficiente selezionare un solo componente meccanico realizzato nelle due diverse metodologie (Figura 18), definito di media complessità secondo i criteri stabiliti da Camba et al. (2016).

Lo studio, coerentemente con l'obbligo di presentare ai partecipanti le modifiche in ordine inverso tra le due

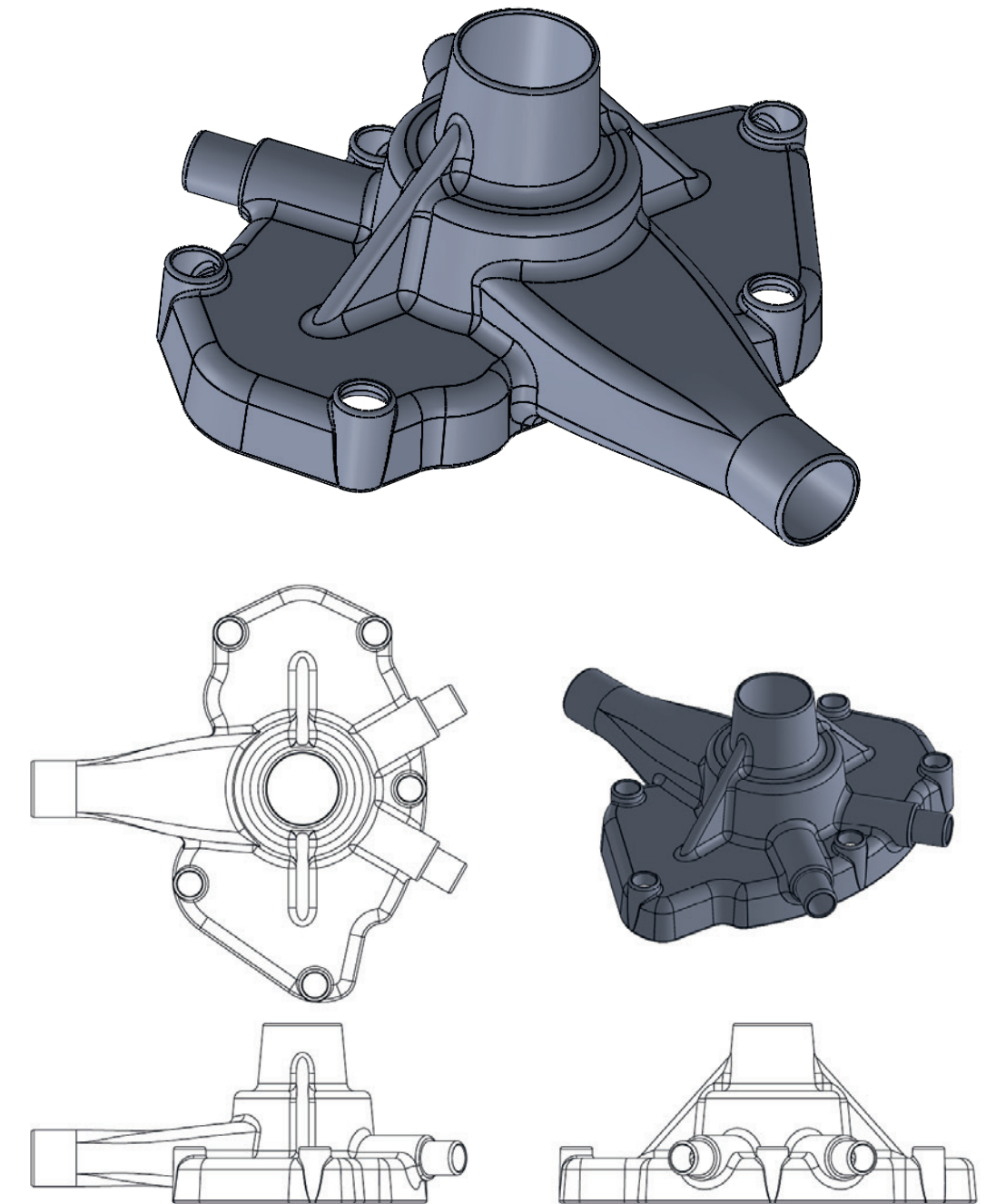


Figura 18 Componente meccanico utilizzato per il test

metodologie in modo equivalente, sarà diviso in due fasi; una prima fase, in cui 10 partecipanti effettueranno prima tre modifiche sulla metodologia RMS e poi le stesse tre modifiche sulla strategia CHENG, ed una seconda fase in cui altri 10 partecipanti effettueranno lo stesso test ma invertendo l'ordine tra le metodologie.

I partecipanti potranno interagire con i file da modificare attraverso apposite cartelle contenenti i file preparati in precedenza; una volta dotati delle informazioni utili per compiere la modifica potranno aprire la cartella denominata con il numero di partecipante a loro assegnato, contenente 6 file, 3 per la metodologia RMS e 3 per la strategia CHENG, in modo da poter effettuare le modifiche ogni volta da un file vergine per poter eventualmente a posteriori verificare la validità della modifica effettuata.

Le modifiche saranno presentate ai partecipanti attraverso fogli A4 stampati dove ogni documento rappresenta la domanda di una modifica, ponendo nella parte superiore le proiezioni ortogonali e la vista assonometrica del modello da modificare ed in basso una previsualizzazione della modifica richiesta, prima e dopo. La richiesta scritta del compito da effettuare non farà riferimento ai nomi delle cartelle e delle operazioni utilizzati nei modelli, né alla nomenclatura delle parti funzionali della strategia CHENG, né alla nomenclatura utilizzata nelle cartelle della metodologia RMS. Sebbene sia interessante poter verificare quale delle due nomenclature sia la più adatta all'illustrazione delle modifiche, pensando ad un ambiente lavorativo in cui la standardizzazione dei nomi è

certamente uno dei problemi, si è deciso di presentare le modifiche ai partecipanti in modo neutrale, attraverso l'uso di immagini ed un testo esplicativo imparziale in modo da valutare la sola comunicazione dell'albero delle operazioni.

Analogamente allo studio comparativo condotto da Camba et al. [11], il test fornirà la possibilità di rilevare il tempo necessario per completare le singole modifiche, al fine di valutare la performance dei partecipanti. La misurazione del tempo trascorso inizierà nel momento in cui i partecipanti avranno accesso alla cartella con il file da modificare e terminerà nel momento in cui avranno chiuso il file e salvato le modifiche effettuate.

È stato fissato un limite di tempo di 10 minuti per ciascuna delle modifiche richieste, tempo considerato più che sufficiente per effettuare le modifiche. In questo modo, tutte le modifiche che superano questo limite saranno considerate non valide, così come tutte le modifiche completate in modo errato saranno escluse dall'analisi finale del test.

3.2.1

Osservazione delle metodologie e delle strategie

Considerando che il test prevede la realizzazione di un compito di modifica assegnato ai partecipanti, non è del tutto possibile testare la riusabilità dei modelli poiché le modifiche richieste sono consapevolmente selezionate sapendo che il modello è in grado di supportarle.

Allo stesso modo, indipendentemente dalla metodologia di modellazione utilizzata, la strategia con cui il designer rappresenta l'intenzione progettuale negli sketch può essere considerata un campo di studio totalmente indipendente dalla metodologia ma che può avere un impatto altrettanto significativo sulla riusabilità dei modelli e sulla facilità di comprensione dell'intento progettuale per gli utenti esterni al processo di progettazione. Anche se questo studio ha come obiettivo confrontare la metodologia RMS e la strategia CHENG, bisogna considerare che in entrambe le metodologie le caratteristiche geometriche del modello sono le stesse. Questo mostra come l'osservazione di una modifica durante il test nel caso in cui la caratteristica geometrica da modificare è la stessa per entrambe le metodologie, termina nel momento in cui il partecipante incontra lo sketch corretto da modificare. Per questo motivo, si è deciso di prestare attenzione e di annotare il tempo trascorso dal momento in cui si dà accesso al modello sino al momento in cui non si incontra l'operazione corretta per quella modifica specifica, per poter acquisire un valore in più per la determinazione della metodologia più intuitiva, o quella che è stata in grado di indirizzare i partecipanti verso l'operazione corretta nel minor tempo. Da quel momento in poi, l'input della metodologia può essere considerato finito e sarà la strategia utilizzata per disegnare lo sketch a determinarne la riusabilità. Trattandosi di un test di analisi sulla riusabilità dei modelli e non sulla modellazione degli stessi, per valutare la strategia dei partecipanti nell'interazione con le caratteristiche

geometriche sarà necessario porli nella situazione di dover eliminare almeno una dimensione per poter compiere la modifica richiesta. In questo modo sarà possibile al termine del test stabilire quali strategie di modifica degli sketch utilizzate dai partecipanti hanno richiesto meno tempo, nel tentativo di trarre informazioni utili dalla conoscenza personale dei partecipanti sulla loro strategia di modellazione, detta conoscenza implicita. Durante il test verrà registrata l'immagine video dello schermo, questo darà la possibilità di poter esaminare a posteriori le strategie di modifica risultate migliori dai valori ottenuti nell'analisi.

3.3
Criterio di selezione delle
modifiche

Come illustrato precedentemente, verranno effettuate 3 modifiche ripetute sulle due metodologie, che verranno selezionate strategicamente cercando di trarre conclusioni oggettive sulle metodologie di modellazione e conclusioni ipotetiche sulle strategie di modifica utilizzate dai partecipanti. L'obiettivo quindi è cercare quei punti nel modello in cui, sebbene la caratteristica geometrica possa essere identica in entrambe le metodologie, le informazioni presenti negli sketch risultano invece essere diverse, per via della compresenza di altre caratteristiche geometriche nello stesso sketch o semplicemente per la quantità di informazioni presenti in esso e per come sono state disposte e comunicate. L'ipotesi è che la stessa caratteristica geometrica se inserita in uno sketch più complesso per via della compresenza di altre caratteristiche geometriche, possa risultare più complessa da modificare considerando la maggiore quantità di informazioni da dover gestire.

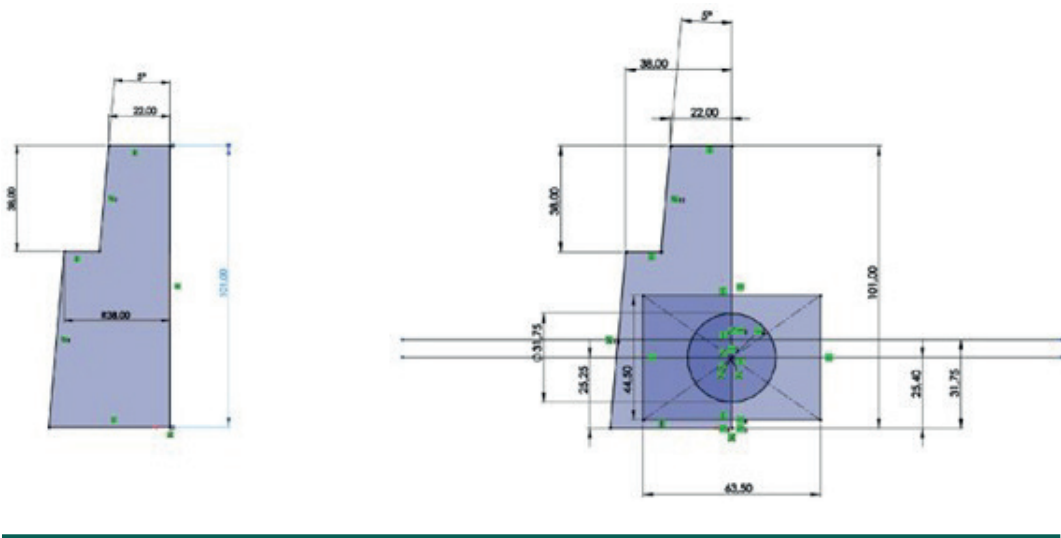
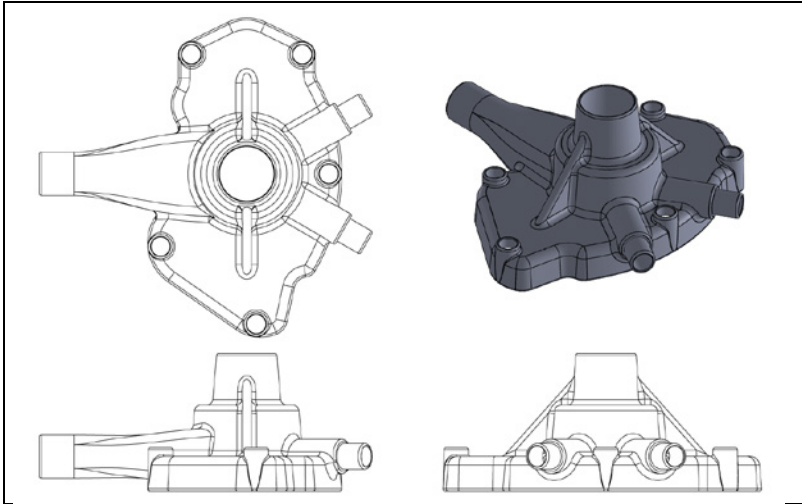


Figura 19 Differenti informazioni nello sketch per la stessa geometria

Metodología RMS: modificación n. 1

Instrucciones:

- ☒ La primera imagen representa el modelo que tendrás que modificar.
- ☒ En la segunda imagen encontrará la modificación necesaria para esta tarea.
- ☒ Intente siempre realizar el cambio en el menor tiempo posible.
- ☒ Una vez completado la modificación, cierre el archivo guardando los cambios.
- ☒ El nombre de algunas operaciones contiene los datos numéricos que hacen referencia a la operación; recuerde actualizar el nombre de la operación.



Metodología RMS: modificación n. 1:

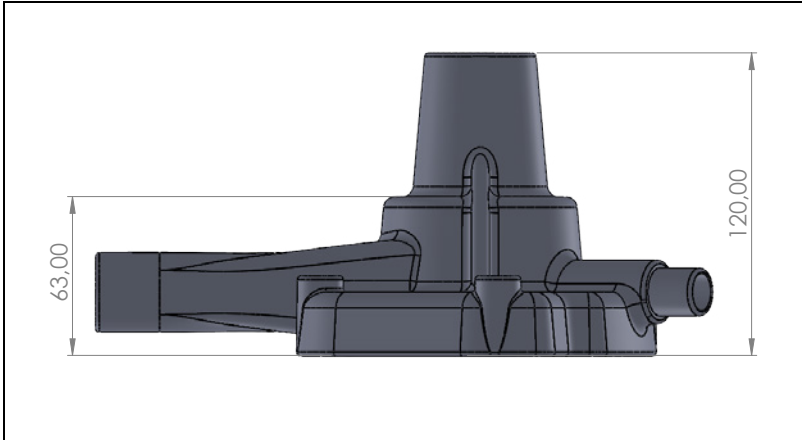


Figura 20 Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 1

La seconda modifica, sempre in linea con quanto già detto, mira a comprendere se l'utilizzo di uno scheletro composto da sketch complessi sia davvero una soluzione migliore rispetto a singoli sketch più semplici nel campo dell'intuitività. La modifica selezionata consiste nel cambiamento della larghezza di un rettangolo che costituisce la forma del foro anteriore del modello ed il cambiamento del diametro del cerchio che costituisce la parte finale di questa funzione. Nel caso della metodologia RMS le due caratteristiche geometriche sono presenti nello stesso sketch, il quale è lo stesso della modifica n. 1. Nel caso della strategia CHENG invece, le due caratteristiche geometriche sono posizionate in due sketch separati ma contenenti solo le informazioni utili per la caratteristica geometrica in questione (Figura 21, Figura 22). In questo caso, non sarà possibile determinare il tempo parziale di rilevamento dello sketch poiché la modifica per la metodologia RMS richiede il rilevamento di un solo

sketch, mentre la strategia CHENG richiede il rilevamento e la modifica di due sketch. Ad ogni modo, verrà osservato il tempo totale trascorso per il completamento della modifica.

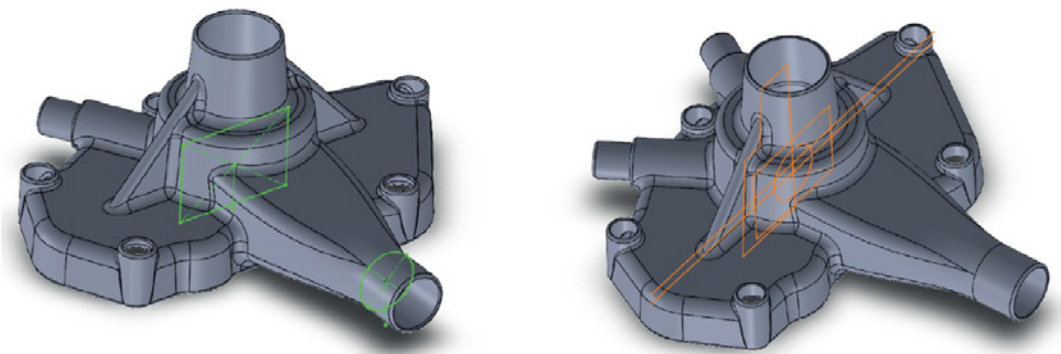
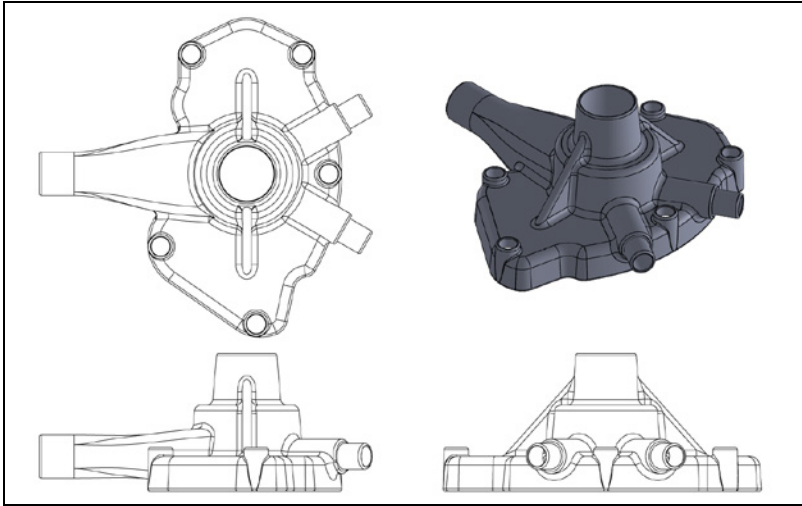


Figura 21 Differente posizionamento delle caratteristiche geometriche

Metodología RMS: modificación n. 2

Instrucciones:

- ☒ La primera imagen representa el modelo que tendrás que modificar.
- ☒ En la segunda imagen encontrará la modificación necesaria para esta tarea.
- ☒ Intente siempre realizar el cambio **en el menor tiempo posible**.
- ☒ Una vez completado la modificación, **cierre el archivo guardando los cambios**.
- ☒ El nombre de **algunas operaciones** contiene los **datos numéricos** que hacen referencia a la operación; **recuerde actualizar** el nombre de la operación.



Metodología RMS: modificación n. 2:

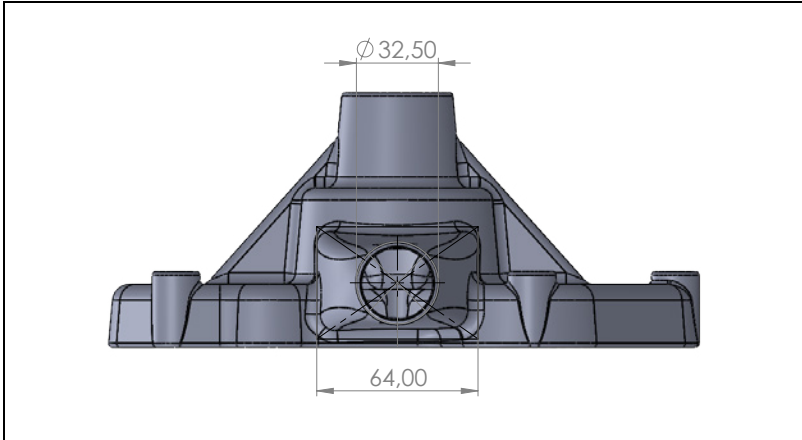


Figura 22 Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 2

Per la terza modifica si è deciso di concentrarsi sul differente posizionamento delle operazioni di smusso, poichè nel caso della metodologia RMS sono presenti tutti all'interno della stessa cartella, mentre per la strategia CHENG poichè l'autore non ha fornito elementi di gestione per questi elementi si è deciso di posizionare al di fuori delle cartelle di ogni singola funzione solo le operazioni di smusso che collegano più funzioni. Consapevoli del fatto che durante lo studio della letteratura gli autori consigliano esplicitamente di posizionare le operazioni di dettaglio sempre nella parte finale dell'albero delle operazioni, si è deciso di continuare l'analisi su ciò che può essere più intuitivo e comodo per gli utenti esterni alla modellazione, ponendo in dubbio quindi che posizionare le operazioni di dettaglio lontano dalle loro operazioni generatrici possa essere realmente comprensibile per chi non conosce l'intento progettuale nel modello. Per questo motivo si è deciso di richiedere la modifica di tutte le operazioni di smusso di dimensione 4,5 mm a 5 mm; non è stato specificato nella richiesta della modifica quante operazioni coinvolge questa modifica, le quali sono due in totale, al fine di poter rendere osservabile come i partecipanti si muovono nell'albero delle operazioni durante la ricerca delle operazioni da modificare. Inoltre, pensando ad un'applicazione reale delle metodologie nel mondo industriale, sarà chiesto ai partecipanti di aggiornare il nome delle operazioni dove presente il dato numerico in riferimento alla stessa, in modo tale da poter misurare il numero di partecipanti che realmente

apportano questa modifica e come attuano con essa.

Lo studio che verrà effettuato mira esclusivamente all'acquisizione di informazioni utili nel campo della rappresentazione dell'intento progettuale all'interno dell'albero delle operazioni,

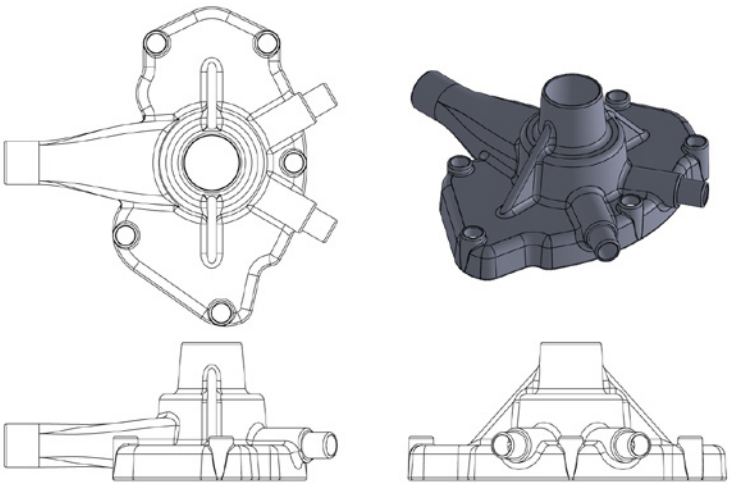
in quanto si è ritenuto impossibile trarre informazioni utili riguardo la flessibilità dei modelli poichè, considerando la preventiva selezione delle modifiche richieste, si è già a conoscenza della capacità dei modelli di saper supportare le modifiche. In ogni caso si cercherà di acquisire informazioni utili anche nel campo della flessibilità dei modelli, utili ed oggettivamente funzionali ad una metodologia che sappia trovare il giusto rapporto tra comunicazione dell'intento progettuale e flessibilità del modello.



Metodología RMS: modificación n. 3

Instrucciones:

- ❑ La primera imagen representa el modelo que tendrás que modificar.
- ❑ En la segunda imagen encontrará la modificación necesaria para esta tarea.
- ❑ Intente siempre realizar el cambio **en el menor tiempo posible**.
- ❑ Una vez completado la modificación, **cierre el archivo guardando los cambios**.
- ❑ El nombre de **algunas operaciones** contiene los **datos numéricos** que hacen referencia a la operación; **recuerde actualizar** el nombre de la operación.



Metodología RMS: modificación n. 3:

Modificar todos los redondeos de 4,5 mm a **5 mm**.

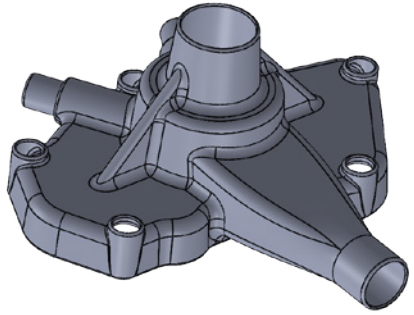


Figura 23 Immagine fornita ai partecipanti per effettuare la modifica n. 3

3.4
Il sistema NASA TLX

Il NASA TLX è uno dei sistemi utilizzati a livello internazionale per la misurazione del carico di lavoro [18]. Secondo la definizione ISO 6385:1981-06 il carico di lavoro (workload) viene definito come lo sforzo mentale (mental stress) prodotto dalle condizioni fisiche e sociali di lavoro. È stato ritenuto importante in questo studio acquisire informazioni utili anche sul carico di lavoro percepito dai partecipanti perchè si ritiene valido come ulteriore elemento per determinare la usabilità della metodologia, pensando ad un ambiente lavorativo in cui l'esposizione è prolungata per svariate ore. Da questo punto di vista quindi una buona metodologia di modellazione deve anche saper soddisfare i requisiti mentali dei suoi fruitori. Il carico di lavoro in generale è stato definito tramite tre principali indicatori:

- o Indici fisiologici (legati allo sforzo, alla fatica, allo stress, all'attivazione fisiologica);
- o Indici comportamentali (legati alla prestazione, alla accuratezza del compito e ai tempi di reazione nella risposta);
- o Indici soggettivi (legati alla percezione della fatica fisica e mentale).

L'utilizzo di uno strumento per l'acquisizione di informazioni soggettive riguardo il carico di lavoro porta con se dei pregi come la semplicità di esecuzione, poichè il test è facilmente replicabile, la poca interferenza che crea tra l'esecuzione del compito e l'acquisizione delle informazioni e la attendibilità delle

informazioni ricavate dato il suo largo utilizzo in differenti campi della ricerca scientifica. Al contrario, bisogna prestare particolare attenzione alla formulazione delle domande poichè sono realmente determinanti nell'acquisizione delle informazioni le quali dovrebbero essere definite in partenza ed utilizzate allo stesso modo per tutti i partecipanti. L'esecuzione del sistema NASA TLX consiste nella spiegazione ad ogni partecipante di una breve descrizione per ognuno dei 6 fattori di cui è composto, definendo per ognuno di essi un valore compreso tra 1 e 20. Assegnare come valore 1 indica una percezione positiva dell'aspetto in questione mentre 20 indica una percezione negativa. I 6 fattori a cui bisogna dare un valore sono: Richiesta mentale, richiesta fisica, richiesta temporale, sforzo, prestazione, livello di frustrazione. Ogni fattore ha un suo parametro che ne stabilisce il peso all'interno del calcolo finale, il quale sarà un numero in percentuale dal valore massimo 100%. Stabilito che il miglior punteggio osservabile è 1%, In questo studio specifico non verrà chiesto un valore per il fattore "richiesta fisica" data la durata totale stimata del test di 15/20 minuti per partecipante e la staticità del compito. Il questionario (Figura 24) verrà esposto ai partecipanti ogni volta che avranno terminato le 3 modifiche appartenenti ad ogni metodologia, in modo da poter stabilire al termine del test un valore definitivo dato dalla media dei risultati ottenuti per ognuna delle due metodologie, potendo così stabilire anche la relazione tra i due valori ottenuti.

PARTECIPANTE 1		RMS			CHENG		
1 basso, 20 alto (Prestazione: 1 ottima, 20 insufficiente)	Peso	Punteg.	Punteg. conver.	Punteg. ponder.	Punteg.	Punteg. conver.	Punteg. ponder.
Richiesta mentale	3	16	80	240	8	40	120
Richiesta fisica	0	0	0	0	0	0	0
Richiesta temporale	5	15	75	375	12	60	300
Sforzo	3	12	60	180	10	50	150
Prestazione	1	17	85	85	9	45	45
Frustrazione	3	17	85	255	8	40	120
Totale peso	15	Totale punteg. ponder.		1135	Totale punteg. ponder.		735
TOTALE		76%			49%		

Figura 24 Esempio layout del sistema NASA TLX

Analisi dei dati

4.
Analisi dei dati

In questa sezione verrà esposto il criterio di analisi utilizzato per tutte le informazioni acquisite durante il test, esposti i risultati ottenuti, individualmente per ogni modifica richiesta e nella loro totalità per metodologia, introdotto il concetto di “improvement” utilizzato per poter avere una lettura più semplice delle informazioni acquisite, esposti i risultati del sistema NASA TLX e delle annotazioni prese durante il test.

4.1
Introduzione del test “t” di Student

Durante l'analisi dei dati, per avere un quadro più ampio dei risultati, è stato utilizzato il test “t” di Student per affermare che la differenza osservata non è dovuta al caso ma che, invece, esiste veramente una diversità tra le medie delle due metodologie da cui i dati stessi derivano.

Per effettuare il test “t” di Student sono presenti molteplici strumenti in rete nei quali poter inserire i propri dati in modo tale da poter ricavare il valore t. Una volta trovato il valore t, esso va confrontato con quelli tabulati in apposite tabelle, che si trovano in tutti i libri di statistica. Dal confronto fra il valore ottenuto e quello tabulato si potrà stabilire se la differenza fra le due medie è dovuta al caso o no. Ad esempio, supponendo di aver ottenuto un valore $t=2.2796$ e volendolo confrontare con quelli presenti nella Tabella dei valori t per 18 gradi di libertà (gradi di libertà = numero osservazioni - numero gruppi; in questo caso $20-2=18$). Il valore è superiore a quello della colonna $p=5\%$ (ma inferiore a quello della colonna $p=1\%$). Perciò si può rifiutare l'ipotesi zero e concludere che la differenza è significativa per $p<0.05$ (ma non per $p<0.01$).

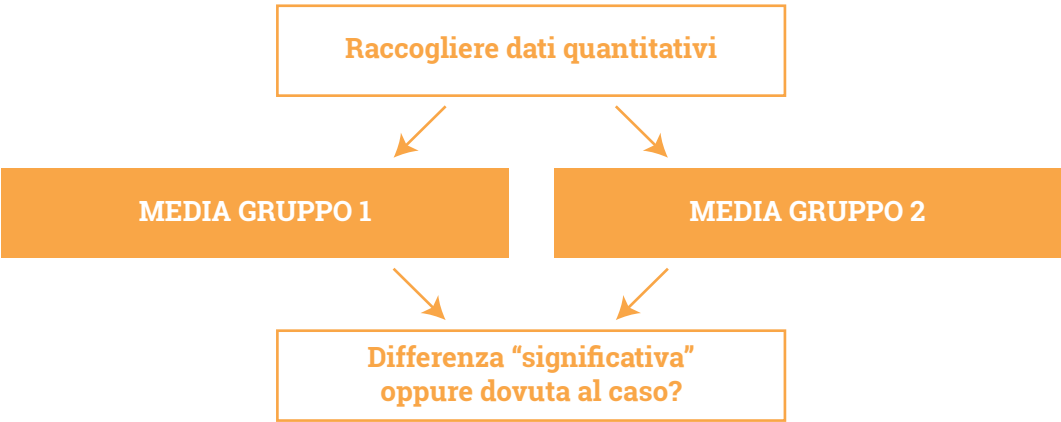


Figura 25 Esempio di applicazione del test “t” di Student

4.2
Introduzione del dato “improvement”

Come già illustrato precedentemente, il test prevedeva l'apportazione di 3 modifiche su di una metodologia e successivamente l'apportazione delle stesse 3 modifiche sulla seguente metodologia nello stesso ordine. Come previsto, è stato riscontrato quasi sempre come l'aver già sostenuto le stesse 3 modifiche nella prima metodologia fosse un elemento d'aiuto nella seconda metodologia, questo perchè la prima volta che i partecipanti hanno affrontato le 3 modifiche richieste si sono imbattuti in 3 incognite:

- 1 **Il modello** su cui apportare le modifiche;
- 2 **Le modifiche** richieste;
- 3 **La metodologia utilizzata** per la costruzione del modello.

Quando invece nel proseguo del test hanno dovuto apportare le modifiche sulla seconda metodologia, l'unica incognita ancora presente era la metodologia stessa, poichè nell'apportazione delle modifiche durante la prima metodologia hanno potuto acquisire informazioni sulla geometria del modello e sul metodo di completamento delle modifiche. Questo suggerisce come, avendo effettuato il test a 20 partecipanti, 10 dei quali hanno sostenuto il test nell'ordine RMS-CHENG e altri 10 nell'ordine CHENG-RMS, è stato possibile determinare una relazione per ognuna delle due metodologie data dal tempo medio necessitato dai 10 partecipanti che hanno svolto la metodologia in questione come prima, definita come fase “learning”, e dal tempo medio

necessitato dai 10 partecipanti che hanno svolto la medesima metodologia come seconda, definita come fase “repetition”. Questo perchè il dato percentuale ottenuto dal rapporto dei due fattori descrive il margine di miglioramento ottenuto in una metodologia una volta eliminate le incognite date dal modello e dalla richiesta della modifica, definito in questo studio come il dato “improvement”. Un tempo medio inferiore nella fase Learning indicherebbe come la metodologia in questione sia più semplice da utilizzare nel caso in cui le 3 incognite citate siano presenti all'unisolo, mentre un tempo medio inferiore nella fase di Repetition indicherebbe come la metodologia in questione aiuti maggiormente il partecipante a compiere la modifica in un tempo ristretto se già a conoscenza del modello e delle caratteristiche utili al completamento della modifica. Durante l'analisi dei dati quindi è stato calcolato l'improvement per ognuna delle 3 modifiche richieste, da questi valori poi è stato possibile calcolare la differenza di improvement, in modo tale da poter stabilire quale delle due metodologie mostra maggior margini di miglioramento.

4.3
Analisi della modifica n. 1

La modifica n. 1 consisteva nella variazione di una caratteristica geometrica che nel caso della metodologia RMS faceva parte di uno degli sketch per la costruzione dello scheletro, mentre per la strategia CHENG risultava essere l'unica caratteristica geometrica presente nello sketch. Nella prima fase delle analisi della modifica n. 1 vedremo i risultati ottenuti dall'osservazione apportata al fine di stabilire il tempo necessitato da ognuno dei partecipanti per individuare lo sketch corretto per compiere la modifica (Figura 19: Differenti informazioni nello sketch per la stessa geometria). Le due tabelle presentate nella Figura 26 rappresentano a pieno lo schema organizzativo utilizzato anche per l'esposizione delle analisi successive, trovando a sinistra la tabella contenente i dati acquisiti organizzati esattamente nello stesso ordine in cui è avvenuto il test, mentre a destra troviamo:

- 1 **Tempo medio** (rappresenta la media totale per ogni metodologia data dalla somma della fase learning + repetition, i quali dati sono poi stati relazionati sempre nell'ordine CHENG/RMS);
- 2 **CHENG e RMS** (rappresentano la relazione per ognuna delle due metodologie tra la fase learning e la fase repetition, in modo da poter calcolare l'improvement);
- 3 **Rapporti CHENG/RMS** (viene rappresentata la relazione data tra le due metodologie nella fase di learning e nella fase di repetition, con conseguente calcolo della differenza di improvement).

Nell'esposizione delle analisi tutti i dati numerici che non rappresentano una percentuale hanno come unità di misura i secondi. Il primo dato evidente nell'individuazione dello sketch 1 mostra come nella strategia CHENG il tempo medio totale necessitato dai partecipanti è risultato essere il 40% inferiore in rapporto alla metodologia RMS. Dall'esposizione dei dati seguenti invece si evince come la strategia CHENG abbia presentato l'improvement maggiore al 148%, un dato che viene assistito e confermato dal fatto che nella fase di learning la strategia CHENG ha necessitato il 23% in meno del tempo medio rispetto a RMS, proseguendo con questa scia positiva anche nella fase di repetition dove il tempo medio individuato risulta essere inferiore del 61%. Indipendentemente dai tempi medi necessari nella metodologia RMS, è evidente come l'improvement sia stato decisamente inferiore, presentando un valore del 27% il che comportamente una differenza di improvement a favore della strategia CHENG del 121%.

IDENTIFICAZIONE SKETCH 1		
Fase	Learning	Repetition
Metodo	RMS	CHENG
1	279	45
2	205	118
3	119	37
4	44	25
5	92	24
6	113	27
7	22	13
8	100	25
9	111	22
10	104	31
Media	118,9	36,7
Metodo	CHENG	RMS
11	78	16
12	67	153
13	234	45
14	45	69
15	110	68
16	107	90
17	53	205
18	90	96
19	63	156
20	64	35
Media	91,1	93,3

TEMPO MEDIO SKETCH 1		
CHENG	RMS	CHENG/RMS
63,9	106,1	-40%
la differenza è significativa per p<0.05		
CHENG		
Learning	Repetition	Improvement
91,1	36,7	148%
la differenza è significativa per p<0.05		
RMS		
Learning	Repetition	Improvement
118,9	93,3	27%
la differenza è significativa per p<0.05		

RAPPORTI CHENG/RMS		
Learning	Repetition	Improvement
-23%	-61%	121%

Figura 26 Dati in riferimento all'individuazione dello sketch 1

Osservando i dati in riferimento al completamento dell'intera modifica n. 1 è possibile notare come i valore presentati in precedenza mantengano una certa costanza, presentando alcuni variazioni in alcuni punti. Il tempo medio mostra come la differenza tra le due metodologie risulti essere diminuita, mostrando comunque un considerevole vantaggio nella strategia CHENG con un tempo medio inferiore del 22%. L'improvement è aumentato in entrambe le metodologie, mostrando tuttavia una differenza di improvement a favore della strategia CHENG del 108%. Nel rapporto tra le fasi di learning è possibile notare come i tempi medi siano molto simili, notando una differenza del 7%. È nella fase repetition dove si evince un tempo medio inferiore del 45% nella strategia CHENG, responsabile quindi dell'alto valore di differenza di improvement presentato in questa modifica.



Figura 27 Dati in riferimento alla modifica n. 1

4.4
Analisi della modifica n. 2

La modifica n. 2 prevedeva il cambio di alcuni parametri in riferimento al foro frontale presente nel modello, il quale nel caso della metodologia RMS era formato da 2 caratteristiche geometriche presenti nello stesso sketch (lo sketch in questione è il medesimo della modifica n. 1), mentre nel caso della strategia CHENG il foro frontale era formato da due caratteristiche geometriche identiche a quelle della metodologia RMS ma collocato ognuna vicina alla propria operazione di riferimento, divise quindi in due sketch separati (Figura 21). Il primo dato utile fornito dalla rapporto tra i tempi medi mostra come le due metodologie abbiano ottenuto praticamente lo stesso risultato, mostra una differenza nulla allo 0%. Questo dato però, se scomposto nelle fasi learning e repetition mostra come la metodologia RMS risulta avere un improvement al 76%, creando una differenza di improvement con la strategia CHENG del 92%. Questa sostanziale differenza di improvement è data dal fatto che nella fase learning la strategia CHENG risulta avere un tempo medio inferiore del 29%, per poi riportare un tempo medio nella fase repetition maggiore del 50%, poichè l'improvement registrato nella strategia CHENG risulta essere in questo caso negativo, considerandolo quindi come nullo. Un tempo inferiore del 30% nella fase learning per la strategia CHENG con un conseguente improvement nullo nella fase repetition, a discapito di una differenza di improvement del 92% a favore della metodologia RMS ha fatto sì che la relazione tra i tempi medi delle due metodologie risultasse nullo.

MODIFICA N. 2		
Fase	Learning	Repetition
Metodo	RMS	CHENG
1	263,2	111,6
2	252,4	255,7
3	272	283,6
4	30,1	102,3
5	118,9	99,5
6	185,4	157,3
7	185,3	157,4
8	185,4	157,3
9	175,6	91,3
10	185,3	157,4
Media	118,9	36,7
Metodo	CHENG	RMS
11	112	131,6
12	93,4	209
13	147,2	79,8
14	191,9	66,1
15	114,6	63,2
16	65,3	60,4
17	112,9	152,6
18	125,4	59,4
19	262,4	173,3
20	99,7	56,2
Media	91,1	93,3

TEMPO MEDIO MODIFICA N. 2		
CHENG	RMS	CHENG/RMS
144,91	145,26	0%
la differenza è significativa per p<0.05		
CHENG		
Learning	Repetition	Improvement
132,48	157,34	-16%
la differenza è significativa per p<0.05		
RMS		
Learning	Repetition	Improvement
185,36	105,16	76%
la differenza è significativa per p<0.05		

RAPPORTI CHENG/RMS		
Learning	Repetition	Improvement
-29%	50%	-92%

Figura 28 Dati in riferimento alla modifica n. 2

4.5
Analisi della modifica n. 3

La modifica n. 3 richiedeva l'aggiornamento di tutti gli smussi presenti nel modello dalla dimensione di 4,5 mm in 5 mm, i quali nel caso della metodologia RMS erano collocati tutti nella loro cartella di riferimento in basso nell'albero delle operazioni (Figura 7), mentre per la strategia CHENG era stato deciso di porle ognuna nella cartella a cui faceva riferimento la funzione a cui apparteneva. I tempi medi mostrano come la strategia CHENG abbia impiegato l'8% del tempo per completare l'operazione rispetto alla metodologia RMS, la quale coerentemente al dato ottenuto dalla relazione data dai tempi medi, mostra avere un improvement al 37%, maggiore di quello della strategia CHENG del 21%, con un rapporto tra le fasi del test osservate che presenta la sua reale demarcazione nella fase repetition, dove la strategia CHENG risulta aver impiegato il 19% in più rispetto alla metodologia RMS.

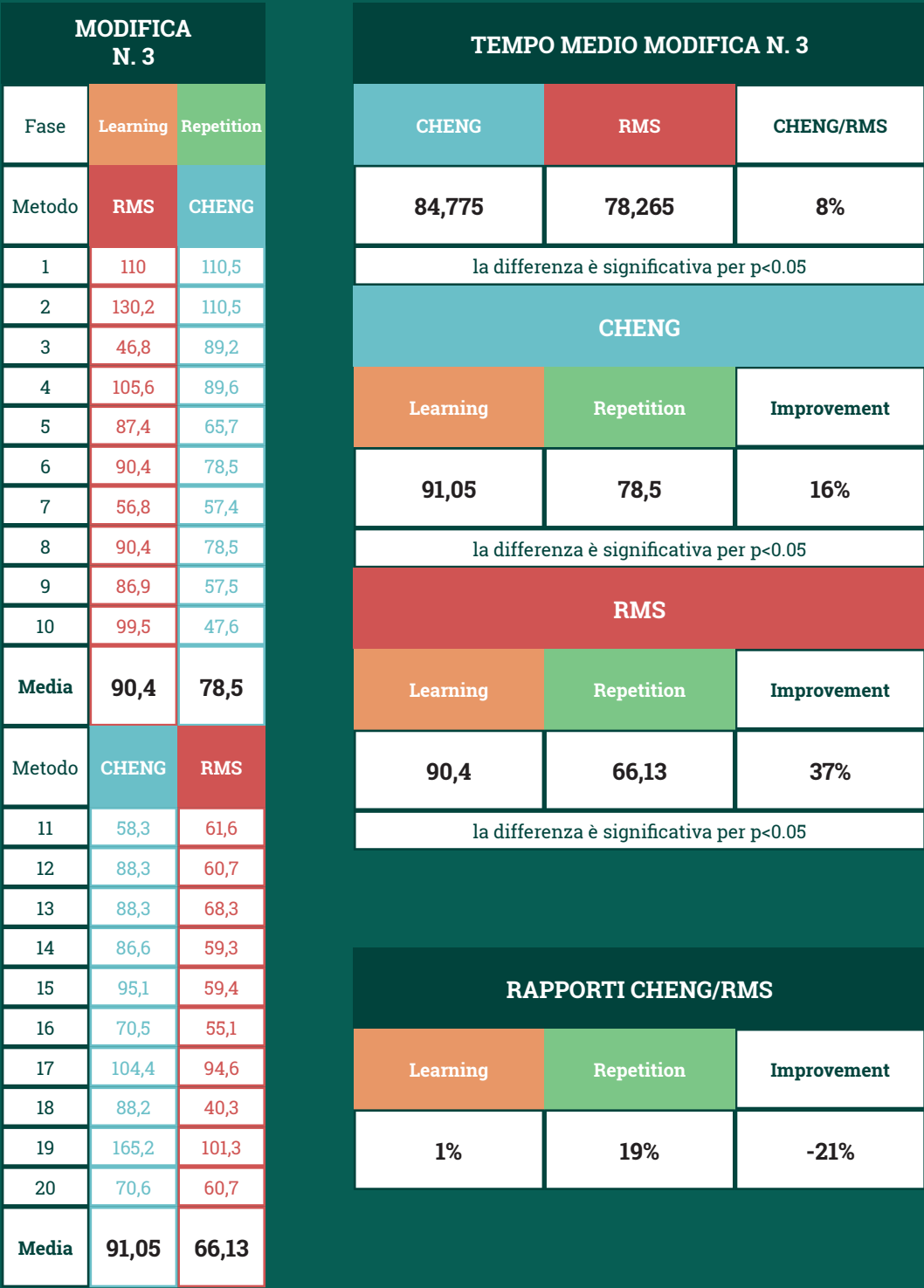


Figura 29 Dati in riferimento alla modifica n. 3

Durante il test era stato richiesto ai partecipanti tra le linee generali fornite loro per il coretto svolgimento, di aggiornare il nome dell’operazione modificata nel caso in cui essa presentasse il dato numerico in riferimento all’operazione svolta. Per l’esattezza le operazioni a cui dover cambiare il nome durante lo scorrere del test erano collocate 2 nella metodologia RMS e 3 nella strategia CHENG, questo perchè l’obiettivo che ci si poneva era capire la percentuale di persone che ricordano il vincolo chiesto loro indipendentemente dalla metodologia in questione.

Per l’esattezza troviamo la rinominazione di 2 operazioni di smusso per ognuna delle due metodologie e la rinominazione di unO sketch utile al compimento della modifica n. 2 nella strategia CHENG (Figura 30). Dai dati emersi è possibile notare come per le operazioni di smusso la percentuale di partecipanti che hanno compiuto la modifica richiesta è praticamente identica tra le due metodologie, trovando un 60% positivo nella metodologia RMS e un 65% positivo nel caso della strategia CHENG, dove il reale riscontro peggiore è stato rilevato nella rinominazione della operazione in riferimento al diametro del foro centrale nella strategia CHENG, con solo il 15% positivo. Questo porta ad avere un risultato utile che descrive l’intera richiesta tra le due metodologie con esito 53% positivo.

RINOMINAZIONE SMUSSI					
Modifica	Smusso 1	Smusso 2	Diametr.	Smusso 1	Smusso 2
Metodo	RMS		CHENG		
1	SI	SI	SI	SI	SI
2	SI	SI	SI	SI	SI
3	NO	NO	NO	SI	SI
4	SI	SI	NO	SI	SI
5	SI	SI	NO	SI	SI
6	NO	NO	NO	NO	NO
7	NO	NO	NO	NO	NO
8	SI	SI	NO	SI	SI
9	NO	NO	NO	SI	SI
10	NO	NO	NO	NO	NO
11	SI	SI	NO	SI	SI
12	SI	SI	NO	SI	SI
13	NO	NO	NO	NO	NO
14	NO	NO	NO	NO	NO
15	SI	SI	SI	SI	SI
16	NO	NO	NO	NO	NO
17	SI	SI	NO	SI	SI
18	SI	SI	NO	SI	SI
19	SI	SI	NO	SI	SI
20	SI	SI	NO	NO	NO
SI/NO	60%	60%	15%	65%	65%
MEDIA TOTALE SI/NO					
53%					

Figura 30 Dati in riferimento alla rinominazione delle operazioni previste

4.6
Analisi generali e del
NASA TLX

Le analisi generali in relazione al NASA TLX mirano a verificare se la percezione della fatica sostenuta dai partecipanti sia coerente con le informazioni tempistiche osservate durante il test, mantenendo anche in questo caso lo schema di analisi utilizzato in precedenza, dove però i dati utilizzati corrispondono alle medie riscontrate nelle analisi divise per metodologia, modifica e fase.

Il tempo medio totale mostra come la strategia CHENG abbia necessitato a livello complessivo l'8% in meno rispetto alla metodologia RMS, il che è coerente con i dati acquisiti nel test NASA TLX dove la media totale delle valutazioni ottenute dai partecipanti mostra come la strategia CHENG abbia suscitato una percezione della fatica inferiore del 5%

rispetto alla metodologia RMS. L'improvement medio totale maggiore risulta essere quello della metodologia RMS, il quale non è il risultato di un netto miglioramento nella fase repetition, poichè la differenza in questa fase è solo dell'1%, ma dal 14% del tempo medio in meno necessitato dalla strategia CHENG nella fase learning. Questi dati vengono associati a quelli ottenuti dal test NASA TLX dove l'improvement maggiore percepito risulta essere quello della strategia CHENG al 4%, contro il 3% della metodologia RMS. Questo rende possibile notare una relazione quasi stabile del 4% e 5% in meno di carico del lavoro percepito nella strategia CHENG nelle fasi di learning e repetition.

MEDIA TOTALE NASA TLX		
CHENG	RMS	CHENG/RMS
33%	38%	-5%
CHENG NASA TLX		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
35%	32%	4%
RMS NASA TLX		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
39%	37%	3%
RAPPORTI CHENG/RMS		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
-4%	-5%	1%

Figura 31 Dati in riferimento alla modifica n. 3

TEMPO MEDIO TOTALE		
CHENG	RMS	CHENG/RMS
123,03	133,83	-8%
la differenza è significativa per p<0.05		
CHENG		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
142,07	103,98	37%
la differenza è significativa per p<0.05		
RMS		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
164,59	103,08	60%
la differenza è significativa per p<0.05		
RAPPORTI CHENG/RMS		
Learning	Repetition	IMPROVEMENT MEDIO
-14%	1%	-23%

Figura 32 Dati in riferimento alla modifica n. 3

4.7
Analisi delle osservazioni in tempo reale

Durante l'esecuzione del test si è prestato particolare attenzione ad alcuni comportamenti dei partecipanti, come la strategia utilizzata per individuare la corretta operazione da modificare o la modalità di esecuzione della modifica. Per quanto non sia possibile trarne dei dati oggettivi, si è comunque ritenuto utile prenderne nota al fine di poter acquisire ulteriori informazioni che possano in futuro portare allo studio dei comportamenti ritenuti potenzialmente rilevanti per migliorare l'esperienza utente durante il test. Vengono esposti in dettaglio i comportamenti ritenuti meritevoli di nota suddivisi per le due metodologie appartenenti e comuni ad entrambe le metodologie.

Comportamenti individuati nella metodologia RMS:

- 1 Nella modifica n. 2 il partecipante ha salvato le modifiche apportate allo sketch per poi procedere alla ricerca della seconda caratteristica geometrica da modificare senza essersi ricordato che fosse presente nello sketch appena salvato (4 partecipanti);
- 2 Il partecipante durante l'esecuzione delle modifiche ha selezionato la copia della caratteristica geometrica utile come referenza per la creazione della geometria 3D, non comprendendo che la corretta caratteristica geometrica a cui dover apportare la modifica è presente nella cartella dello scheletro del modello (16 partecipanti);
- 3 Il partecipante durante l'esecuzione

della modifica n. 2 ha proceduto alla ricerca delle caratteristiche geometriche utili ad effettuare la modifica, non avendo quindi compreso che fossero presenti nello sketch poco prima modificato durante la modifica n. 1 (19 partecipanti).

Comportamenti individuati nella strategia CHENG:

- 1 Il partecipante ha compreso che la selezione della cartella appartenente ad una funzione gli permette di previsualizzare la geometria della funzione nella sua totalità nel modello (2 partecipanti);
- 2 Il partecipante ha compreso che la selezione della geometria 3D nel modello a cui fa riferimento la modifica gli permette di previsualizzare l'operazione nell'albero delle operazioni a cui sono direttamente collegati gli sketch che ne danno forma (2 partecipanti).

Comportamenti comuni alle due metodologie:

- 1 La ricerca dell'operazione corretta a cui effettuare la modifica avviene tramite il solo utilizzo dell'albero delle operazioni, senza selezionare la geometria 3D del modello che attiverebbe la previsualizzazione nell'albero delle operazioni (3 partecipanti);
- 2 Il partecipante compie la modifica senza aprire le opzioni di modifica dello sketch, utilizzando la previsualizzazione dei parametri

attraverso la selezione della geometria 3D (4 partecipanti);

- 3 Il partecipante nella esecuzione della modifica n. 3 ha verificato più volte la corretta esecuzione del compito poichè confuso dal non aver aggiornato immediatamente il nome dell'operazione (8 partecipanti);
- 4 Nella modifica n. 1 il partecipante sceglie di apportare la modifica alla caratteristica geometrica effettuando il calcolo a mente (10 partecipanti).

Conclusioni

5. Conclusioni

Dopo aver provveduto all'illustrazione dei dati elaborati in fase di analisi esposti secondo i criteri di raggruppamento utilizzati in fase di acquisizione, vengono proposte le conclusioni del caso basate sui risultati ottenuti dal rapporto dei dati delle due metodologie e dalle osservazioni dei partecipanti in tempo reale. Le conclusioni vengono effettuate cercando di riassumerle in modo oggettivo, tenendo conto però della conoscenza implicita nell'argomento di ogni partecipante e di come la standardizzazione di alcuni comportamenti sia esposta ad un limite dato dall'ampia libertà di procedure possibili per l'esecuzione dei compiti.

5.1 Conclusioni individuali sulle modifiche

Durante l'illustrazione delle analisi è stato possibile osservare come un'analisi mirata per ogni modifica fosse necessaria per poter valorizzare al meglio gli esiti ottenuti nelle analisi generali, poichè le relazioni tra le due metodologie cambiano molto a seconda della richiesta di modifica in cui vengono analizzate. Seguendo quindi verranno illustrati i risultati e le conclusioni derivanti dal test. Dai dati osservati nella modifica n. 1 è stato possibile osservare come sia nell'individuazione dello sketch 1, sia nel completamento della modifica totale la strategia CHENG sia apparsa molto più performante, riscontrabile in tutti e 3 gli elementi osservati:

- 1 Il rapporto tra i **tempi medi** delle due metodologie;

- 2 Il rapporto tra i tempi medi nelle fasi **learning** e **repetition**;

- 3 La differenza di **improvement** tra le due metodologie.

Dopo aver provveduto all'illustrazione dei dati elaborati in fase di analisi esposti secondo i criteri di raggruppamento utilizzati in fase di acquisizione, vengono proposte le conclusioni del caso basate sui risultati ottenuti dal rapporto dei dati delle due metodologie e dalle osservazioni dei partecipanti in tempo reale. Le conclusioni vengono effettuate cercando di riassumerle in modo oggettivo, tenendo conto però della conoscenza implicita nell'argomento di ogni partecipante e di come la standardizzazione di alcuni comportamenti sia esposta ad un limite dato dall'ampia libertà di procedure possibili per l'esecuzione dei compiti.

Questo rende più evidente come l'utilizzo di sketch composti da più caratteristiche geometriche non appartenenti alla costruzione di una stessa funzione, poichè non è l'approccio progettuale utilizzato dalla metodologia RMS, risulti essere evidentemente poco competitivo nei confronti di una caratteristica geometrica di semplice lettura.

Le analisi della modifica n. 2 rappresentano con i dati numerici un problema che si temeva di dover incontrare, dato da tempi medi praticamente identici tra loro contraddistinti da una differenza di improvement rilevante. Si ritiene che questo sia avvenuto perchè contrariamente alle conclusioni della modifica n. 1, la strategia CHENG è risultata vincente nella fase learning ma

notevolmente perdente nella fase repetition.

La modifica n. 3 riguardo le relazioni tempistiche tra le due metodologie non ha portato a grandi differenze. Ad ogni modo, La metodologia che ha mostrato la performance migliore in questo tipo di modifica è risultata essere la metodologia RMS, con un tempo medio nella fase learning praticamente identico ma con una consistente ottimizzazione dei tempi nella fase repetition.

La richiesta di modifica della rinominazione delle operazioni prevedeva in 4 delle 5 operazioni coinvolte l'esplicita ricerca delle stesse tramite la lettura dell'albero delle operazioni poichè, non essendo a conoscenza del numero totale delle operazioni di smusso coinvolte, la modalità più idonea per l'individuazione era proprio la lettura della nomenclatura dell'albero delle operazioni. Questo ha reso possibile notare come nonostante i partecipanti fossero a conoscenza della regola di dover aggiornare il nome dell'operazione e nonostante avessero individuato l'operazione coinvolta proprio

grazie al dato numerico nel nome dell'operazione, solo poco più della metà di loro si è ricordato di aggiornare il nome. Quanto appena detto è aggravato dal dato che mostra come nel caso di una operazione che non è stata individuata tramite il dato numerico nel nome dell'operazione, in questo caso specifico si fa riferimento alla dimensione del diametro necessario per compiere la modifica n. 2 nella strategia CHENG, solo il 15% dei partecipanti si è ricordato di compiere la modifica.

Nella modifica n. 1 il fenomeno riscontrabile nelle due fasi learning e

repetition mostra questa strategia di modellazione in questo caso specifico risulti essere vincente sia nella comunicazione del problema che nell'esecuzione in tempi ristretti. Oltretutto, la notevole differenza di improvement segnalato a favore della strategia CHENG mostrerebbe come questa strategia di modellazione non sia solo stata la più performante, ma quella che auspica a maggior margini di miglioramento nell'utilizzo prolungato, pensando appunto all'utilizzo di questa strategia in questa precisa circostanza in una metodologia di modellazione stabile in un ambiente lavorativo.

La modifica n. 2 conferma come in una fase di apprendimento del modello l'utilizzo di sketch semplici e strettamente collegati alle loro generatrici sia più semplice da interpretare, dimostrando però allo stesso tempo come in una fase di repetition, essere già a conoscenza del modello su cui si andrà a lavorare e consapevole della modifica che si dovrà svolgere risulti essere più performante se le caratteristiche geometriche a cui dover apportare le modifiche sono presenti nello stesso sketch.

I risultati della modifica n. 3 mostrano come la decisione del posizionamento delle operazioni di dettaglio sia più condizionata dalla capacità di saper dare robustezza al modello più che dalla praticità d'esecuzione che può trarne il fruitore. Tuttavia i risultati ottenuti nella metodologia RMS confermerebbero la regola diffusa ampiamente nel marco teorico che propone il posizionamento delle operazioni di dettaglio al termine dell'albero delle operazioni, traendone vantaggi anche dal punto di vista della comunicazione dell'intento progettuale. Le percentuali di completamento della

richiesta di modifica del nome delle operazioni ha reso evidente come questo sia un elemento poco utilizzato generalmente dagli studenti per ottimizzare la comunicazione dell'intento progettuale, mostrando inoltre come l'utilizzo del dato numerico nel nome dell'operazione nel caso in cui non sia utile ad individuare la posizione dell'operazione stessa risulti essere superfluo.

5.2

Conclusioni generali

I risultati generali rappresentano la media finale dell'andamento del test e come tale è d'aiuto nel cercare di trarre conclusioni che sappiano descrivere le prestazioni delle due metodologie da una visione più ampia.

Si ritiene necessario evidenziare alcuni dati utili al fine di poter tracciare una linea del discorso che punti ad evidenziare le peculiarità di cada una delle due metodologie:

- o La strategia CHENG registra il più alto valore di improvement (modifica n. 1, 166%);
- o La strategia CHENG registra il più basso valore di improvement (modifica n. 2, -16%);
- o La strategia CHENG registra il più alto valore di differenza di improvement (identificazione sketch 1, 121%);
- o La metodologia RMS registra il più basso valore di tempo medio (modifica n. 3, fase

repetition, 66,13 secondi);

- o La metodologia RMS registra il più alto valore di tempo medio (modifica n. 1, fase learning, 218,01 secondi);
- o La metodologia RMS registra il suo più alto valore di improvement (modifica n. 2, 76%).

Questi dati aiutano a comprendere alcuni dei fenomeni osservabili durante lo studio di due metodologie di modellazione CAD che si differenziano principalmente dall'approccio progettuale utilizzato per la costruzione dei modelli, geometrico nel caso della metodologia RMS, funzionale nel caso della strategia CHENG. Ricordando che il dato improvement viene calcolato dal rapporto delle fasi learning e repetition della stessa metodologia, viene evidenziata come peculiare la coincidenza che porta a notare come il più alto valore assoluto di improvement registrato dalla strategia CHENG sia stato realizzato nella modifica dove la metodologia RMS ha registrato il maggior tempo medio assoluto per compiere una modifica (modifica n.1, valore improvement strategia CHENG 166%, valore tempo medio più alto metodologia RMS 218,01 secondi). Allo stesso modo, è stato riscontrato come il più alto valore personale di improvement della metodologia RMS sia stato realizzato nella modifica dove la strategia CHENG ha realizzato il più basso valore assoluto di improvement (modifica n. 2, improvement metodologia RMS 76%, improvement strategia CHENG -16%). Un altro elemento considerato degno di osservazione è quello che potrebbe

essere valutato attraverso l'uso del Dry EEG. Sebbene i valori ottenuti dal carico di lavoro ponderato con il tempo non abbiano portato all'individuazione di discrepanze significative, essendo i valori medi stabili al 26%-27%, l'utilizzo dello "score" per quantificare il carico di lavoro in relazione al tempo richiesto ha mostrato come la leggera oscillazione percentuale dell'1% sia in grado di evidenziare la migliore performance delle due metodologie laddove esse hanno dimostrato di essere più competitive. Nella Figura 33 è possibile notare come la metodologia DBZ-MU abbia registrato il suo minor carico di lavoro ponderato nella fase di apprendimento dove si è dimostrata più competitiva, allo stesso modo la metodologia RMS ha registrato il suo minor carico di lavoro ponderato nella fase di ripetizione dove i tempi medi hanno dimostrato di essere più competitivi.

In senso più generale, il tempo medio totale tra tutte le modifiche e i dati ottenuti dal NASA TLX mostrano come la strategia CHENG sia risultata complessivamente più performante per un gruppo di partecipanti non a conoscenza delle metodologie. La percezione del carico di lavoro è risultata

essere inferiore per la strategia CHENG e si ritiene che il responsabile di questo dato sia il notevole tempo in più medio necessitato nella fase learning dalla metodologia RMS. Se la miglior performance nella fase learning registrata dalla strategia CHENG sia oggettivamente dimostrata, non è possibile fare lo stesso con la miglior performance nel dato improvement medio ottenuto dalla metodologia RMS. Il primo risultato esposto mostrerebbe

come le due metodologie possano essere studiate non come diverse tra loro, ma come complementari tra loro, data l'osservazione di come le migliori performance di ognuna delle due metodologie siano state riportate esattamente quando l'altra metodologia ha riportato le sue peggiori performance.

Il fatto che la migliore prestazione nella fase di apprendimento per la metodologia DBZ-MU sia stata ancora più competitiva considerando il carico di lavoro, così come la migliore prestazione della metodologia RMS nella fase di ripetizione sia stata ancora più competitiva considerando il carico di lavoro, è un chiaro elemento di come la praticità di una metodologia in determinate condizioni non porti solo ad una diminuzione del tempo ma anche ad una conseguente diminuzione del carico di lavoro cognitivo richiesto. Il dato più rilevante è ancora il tempo, ma il carico di lavoro può fornire utili informazioni aggiuntive per confermare una migliore performance data dal tempo in situazioni specifiche.

Le analisi generali quindi aprono la strada a due percorsi possibili di sviluppo, uno che vede le due metodologie a pari livello di performance nella fase repetition, con il vantaggio per la strategia CHENG di necessitare meno tempo e carico di lavoro nella fase learning, ed un altro possibile percorso di sviluppo che vede le due metodologie alla pari nella fase repetition, con l'auspicio che la metodologia RMS mantenga un improvement medio maggiore in un utilizzo prolungato, tutto questo tenendo presente che in 2 delle 3 modifiche richieste le due metodologie si sono mostrate complementari tra loro.

5.3

Conclusioni personali

Le conclusioni personali utilizzano le osservazioni in tempo reale come base su cui illustrare i propri pensieri su ciò che si è studiato, approfondito e analizzato, ritenendole quindi utili alla elaborazione di nuovi punti di vista più che come dati oggettivi.

Tra le varie osservazioni fatte durante il e tra le tante riportate nell'esposizione delle analisi fatte dalle osservazioni in tempo reale, il comportamento osservato che più ha suscitato attenzione è stato notare come praticamente la totalità dei partecipanti non si sia accorto che lo sketch a cui dover apportare la modifica n. 2 nella metodologia RMS fosse già stato visualizzato e manipolato durante lo svolgimento della modifica n. 1. I partecipanti risultavano essere focalizzati solo ciò di cui avevano bisogno per compiere la modifica, non prestando attenzione alle informazioni aggiuntive. Allo stesso modo, nella medesima modifica in questione la metodologia RMS ha registrato il suo maggior livello di improvement dato dal vantaggio di possedere le due caratteristiche geometriche utili per compiere la modifica nel medesimo sketch.

L'osservazione riportata mostrerebbe come, l'utilizzo di sketch complessi dal punto di vista della comunicazione dell'intento progettuale, presenta il difetto di complicare la manipolazione della caratteristica geometrica desiderata, ma non il vantaggio di poter memorizzare tutte le caratteristiche geometriche presenti all'interno dello sketch che potrebbero tornare utili nel proseguo delle modifiche sul modello.

Questo rende visibile come la medesima metodologia se osservata in due fasi differenti può dare due risultati

completamente opposti. Dall'esempio riportato si può notare come in questa precisa situazione, la decisione determinante non risiede nella scelta o meno di utilizzare sketch complessi, ma dalla conoscenza di quando più elementi verranno modificati all'unisolo e quando no, perchè in questo modo sarebbe possibile utilizzare sketch semplici per una buona comunicazione dell'intento progettuale e sketch complessi solo quando le caratteristiche geometriche verranno modificate insieme.

Questo fa riflettere su come la metodologia RMS stessa insegna come per ottenere una reale ottimizzazione delle sue performance è necessario eseguire un'analisi funzionale, perchè solo un'analisi funzionale potrebbe fornire una risposta su quali elementi verranno probabilmente modificati e come relazionarli tra loro per ottimizzare le opzioni di modifica, indipendentemente dalla metodologia che si sta utilizzando. Per questo motivo volendo stabilire quale elemento è risultato il più influente nello svolgimento del test per entrambe le metodologie sicuramente viene citata l'analisi funzionale necessaria prima della modellazione, il che fa pensare come indipendentemente dagli esiti del test, la strategia CHENG sia il corretto percorso per lo sviluppo di nuove metodologie poichè basata su di un elemento ritenuto imprescindibile, l'analisi funzionale come individuazione delle modifiche future.

Volendo esprimere un parere sulle due metodologie studiate anche sulla base delle osservazioni fatte durante il test, viene da pensare come la strategia CHENG sia ad oggi più propensa all'insegnamento, potendo unire lezioni

funzionali ai progetti e funzionali alla modellazione stessa, e più propensa ad un ambiente di lavoro in cui lo scambio di modelli tra designer ed anche tra imprese

è realmente costante e giornaliero, potendo così sfruttare il suo linguaggio semplice e la facilità d'interpretazione registrata. Mentre la metodologia RMS sembra essere più propensa ad un ambiente di lavoro in cui la condivisione dei modelli con designer esterni alla modellazione è poco frequente, a discapito di una continua modificazione del modello da parte del designer, potendo così sfruttare la compresenza delle caratteristiche geometriche in poche operazioni e ottimizzare notevolmente i tempi di modifica.

Tutto questo senza dimenticare come le due metodologie si siano dimostrate complementari tra loro, mostrando come ogni metodologia è capace di dare una soluzione meritevole in diverse situazioni, quindi suggerendo come il reale patrimonio di una metodologia non risieda nella sua organizzazione dell'albero delle operazioni ma nelle differenti strategie di modellazione applicate nella giusta situazione.

Linee future

6.

Linee future

Nelle linee future si vuole proporre alcune osservazioni scaturite dalle conclusioni, ritenuti quindi valida possibilità di approfondimento per poter ampliare il lavoro fatto e studiarlo da nuovi punti di vista. Nel dettaglio, marcando come questo studio fosse focalizzato sulla comunicazione dell'intento progettuale nell'albero delle operazioni, le proposte di studio future mirano all'approfondimento solo di questo specifico aspetto del ampio campo di studio che coinvolge la riusabilità nei modelli CAD parametrici associativi.

6.1

Le esigenze di riusabilità

Come esposto nelle conclusioni personali le due metodologie studiate hanno mostrato come complessivamente avessero un potenziale più o meno equo, ma se osservate nel dettaglio mostrano le loro peculiarità. La capacità della strategia CHENG di essere appresa con meno sforzo contro la capacità della metodologia RMS di sapere ottimizzare i tempi in una fase di ripetizione delle modifiche, mostra quanto già sostenuto durante lo studio dello stato dell'arte; la riusabilità andrebbe definita pensando alle esigenze del caso che si vuole risolvere, perchè risulta essere più probabile che ci sia una soluzione per ogni esigenza di riusabilità di una soluzione unica e generale. Nel caso specifico riportato la strategia CHENG risulta essere più adatta ad uno scambio di informazioni tra aziende molto ampio, dove la possibilità di impartire la conoscenza della metodologia a tutti i

suoi possibili fruitori risulti improbabile, proponendo così come soluzione alla riusabilità una metodologia che sappia essere di facile lettura soprattutto per designer non a conoscenza del suo funzionamento, in un contesto dove con il tempo e l'esperienza i fruitori imparino a comprenderne i meccanismi di organizzazione automaticamente. Mentre la metodologia RMS sembra essere più propensa ad un ambiente di lavoro autonomo, dove il designer ideatore è l'unico fruitore del modello, prediligendo quindi una metodologia compatta che sappia permettere modifiche rapide nel minor tempo possibile.

Questi sono solo due esempi delle possibili esigenze di riusabilità che potrebbero essere analizzate singolarmente, suggerendo quindi uno studio che miri ad approfondire quali siano le esigenze di riusabilità più frequenti, determinare in quale delle esigenze individuate è necessario utilizzare una soluzione specifica e in quali no, per poi poter studiare soluzioni mirate ad ogni problema.

6.2

Learning, Repetition, Execution

L'organizzazione del test effettua a reso possibile poter definire all'interno di ogni singola metodologia due fasi distinte, learning e repetition, dove nella fase learning il partecipante deve affrontare 3 incognite, il modello le modifiche richieste ed il funzionamento della metodologia, mentre nella fase repetition l'unica incognita rimasta da determinare è l'utilizzo della

metodologia.

La proposta di linea futura quindi risiede nell'ampliamento delle fasi del test con l'obiettivo di poter stabilire quale sia l'andamento dell'improvement osservato, aggiungendo quindi un terza fase che viene definita in questa proposta come fase execution. La fase execution potrebbe essere aggiunta al test come terza fase il cui numero di incognite del partecipante nei confronti del test è 0, riproponendo quindi la metodologia e le modifiche richieste nella prima fase, la fase learning, in modo da poter osservare quanto rapidamente riescono a destreggiarsi all'interno del modello una volta a conoscenza di tutti le informazioni utili per compiere il compito, potendo così probabilmente osservare il proseguo dell'improvement. Il test proposto fornisce prevalentemente solo informazioni percentuali date dalla relazione delle due metodologie studiate, credendo quindi che sia altamente replicabile anche nel caso di altre metodologie e livelli di complessità delle modifiche maggiori, potendo prendere in considerazione la proposta di aggiungere una terza fase per rinforzare il dato improvement.

6.3

La rinominazione delle operazioni

Durante l'organizzazione del test si è prestato particolare attenzione alla rinominazione nell'albero delle operazioni. La metodologia RMS fornisce alcune linee guida sulla rinominazione delle operazioni perchè ritiene che sia un elemento valido nella

comunicazione dell'intento progettuale, prendendo così la decisione di definirne una anche per la strategia CHENG. Definire una rinominazione che possa essere standardizzata in una metodologia risulta essere difficile poichè il nome dell'operazione è strettamente collegato alla comunicazione dell'intento progettuale, credendo come sia la realtà industriale a dover definire la propria rinominazione delle operazioni con la consapevolezza delle agevolazioni che questo può fornire. Per questo motivo durante lo studio si è cercato di approfondire quali elementi possono essere utili o meno all'interno del nome di una operazione piuttosto che definire il nome stesso. Questo è portato ad osservare come nel caso del dato numerico presente nel nome in riferimento all'operazione, solo poco più della metà dei partecipanti si sia ricordato di aggiornarlo. Questo porta a pensare come una possibile linea di studio futura possa essere la progettazione di un test specifico volto alla comprensione della quantificazione dell'aiuto fornito da questi dati e dal danno creato nel momento in cui si crea una incoerenza tra il dato numerico nel nome dell'operazione ed il valore reale della operazione stessa. Durante l'osservazione dei partecipanti molti erano stati confusi dal loro stesso errore nel non aver aggiornato il nome dell'operazione, entrando ed uscendo dall'operazione più volte, mostrando come l'utilizzo di questo strumento di comunicazione si sia rilevato più dannoso che utile. Ciò che si vuole mettere in dubbio e si propone di approfondire quindi, è che poco più della metà dei partecipanti non sia un numero abbastanza

considerevole per poter pensare che sia ovvio l'utilizzo di questo strumento di comunicazione all'interno dei nomi nell'albero delle operazioni, suggerendo uno studio approfondito volto a valutarne le potenzialità ed i rischi.

6.4

L'intento progettuale funzionale

Per quanto l'analisi funzionale sia stata definita in questo studio come l'elemento cardine a cui una metodologia di modellazione ed una progettazione di modellazione devono girare attorno come unico epicentro prioritario, non è stato possibile fornire un numero considerevole di apportazioni sulla comunicazione dell'intento progettuale funzionale perchè non è ben definita una strategia di analisi funzionale volta alla flessibilità dei modelli. Studiare la modellazione CAD ponendosi come priorità la flessibilità dei modelli risulta essere differente dallo studio della comunicazione dell'intento progettuale, due aspetti della modellazione però che viaggiano parallelamente al fine di poter incontrare il giusto compromesso dato dalle priorità del caso. L'intento progettuale quindi dovrebbe essere volto alla valorizzazione delle conclusioni fatte da un'analisi funzionale, all'acquisizione di tutte le informazioni utili al fine di poter ottimizzare le modifiche prevedibili in accordo con ciò che è funzionale per la flessibilità dei modelli. Rimane senza dubbio quello della analisi funzionale e della sua comunicazione il tema più rilevante osservato nella letteratura e nelle analisi del test, suggerendo quindi

un intenso studio variegato sull'argomento al fine di apportare quante più soluzioni possibili nuove nella letteratura.

CAPITOLO 7

Bibliografia

7. Bibliografia

- [1] Y. Bodein, B. Rose, and E. Caillaud, "A roadmap for parametric CAD efficiency in the automotive industry," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 45, no. 10, pp. 1198–1214, 2013, doi: 10.1016/j.cad.2013.05.006.
- [2] Aberdeen Group, "The Design Reuse Benchmark Report Seizing the Opportunity to Shorten Product Development," Boston, 2007.
- [3] B. R. Barbero, C. M. Pedrosa, and R. Z. Samperio, "Learning CAD at university through summaries of the rules of design intent," *Int. J. Technol. Des. Educ.*, vol. 27, no. 3, pp. 481–498, 2017, doi: 10.1007/s10798-016-9358-z.
- [4] I. Chester and W. Gaughran, "Teaching for CAD expertise," in *International Journal of Technology and Design Education*, Jan. 2007, vol. 17, no. 1, pp. 23–35, doi: 10.1007/s10798-006-9015-z.
- [5] B. Ramos Barbero, C. Melgosa Pedrosa, and G. Castrillo Peña, "The importance of adaptive expertise in CAD learning: maintaining design intent," *J. Eng. Des.*, vol. 29, no. 10, pp. 569–595, Oct. 2018, doi: 10.1080/09544828.2018.1519183.
- [6] Z. Cheng and Y. Ma, "A functional feature modeling method," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 33, pp. 1–15, 2017, doi: 10.1016/j.aei.2017.04.003.
- [7] J. D. Camba and M. Contero, "Improved representation of dependencies in feature-based parametric CAD models using acyclic digraphs," *GRAPP 2015 - 10th Int. Conf. Comput. Graph. Theory Appl.* VISIGRAPP, Proc., pp. 16–25, 2015, doi: 10.5220/0005261500160025.
- [8] D. M. Landers and P. Khurana, "HORIZONTALLY-STRUCTURED CAD/CAM MODELING FOR VIRTUAL CONCURRENT PRODUCT AND PROCESS DESIGN (75)," *CRC Handb. Mathematical Sci.*, vol. 86, Art. no. US 6,775,581 B2, 2004, [Online]. Available: <http://dnclab.berkeley.edu/lma/people/chchu/paper/NCopti>.
- [9] Y. Bodein, B. Rose, and E. Caillaud, "Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system," *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 1, pp. 136–147, 2014, doi: 10.1016/j.compind.2013.08.004.
- [10] R. Gebhard, "122 - A Resilient Modeling Strategy." Siemens, 2013.
- [11] J. D. Camba and M. Contero, "Parametric CAD Modeling: An Analysis of Strategies for Design Reusability," *Comput. Aided Des.*, vol. 63, pp. 101–117, 2016, doi: 10.1016/j.cad.2016.01.003.
- [12] N. W. Hartman, "Defining expertise in the use of constraint-based CAD tools by examining practicing professionals," *ASEE Annu. Conf. Proc.*, pp. 2763–2775, 2005, doi: 10.18260/1-2--13970.
- [13] J. Camba, M. Contero, and P. Company, "Parametric CAD Modeling: An Analysis of Strategies for Design Reusability," *Comput. Des.*, vol. 63, no. June, pp. 18–31, 2016, doi: 10.1016/j.cad.2016.01.003.
- [14] J. Otey, P. Company, M. Contero, and

- J. D. Camba, "Revisiting the design intent concept in the context of mechanical CAD education," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 47–60, 2018, doi: 10.1080/16864360.2017.1353733.
- [15] G. R. Iyer and J. J. Mills, "Design Intent in 2D CAD: Definition and Survey," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 3, no. 1–4, pp. 259–267, 2006, doi: 10.1080/16864360.2006.10738463.
- [16] C. González-Lluch, P. Company, M. Contero, J. Camba, and J. Colom, "A Case Study on the Use of Model Quality Testing Tools for the Assessment of MCAD Models and Drawings," *Int. J. Eng. Educ.*, 2017.
- [17] J. Otey, P. Company, M. Contero, and J. D. Camba, "Revisiting the design intent concept in the context of mechanical CAD education," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 47–60, 2017, doi: 10.1080/16864360.2017.1353733.
- [18] Human Performance Research Group, "NASA Task Load Index User Manual v. 1.0." p. 19, 1986, [Online]. Available: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLX.pdf>.

“Claudio helped us to experiment with different Bitbrain tech to explore the 3D models reediting experience of users in terms of stress, cognitive load and attention. He carried out different case studies in an exploratory way. He has done an exceptional job in the DBZ. The field of modelling methodologies for parametric associative softwares is something incipient and with a lot of content difficult to assimilate even for an expert engineer. He has learnt, internalised and analysed the existing methodologies by carrying out an innovative experiment in the field. In addition, his work has helped the research team in the development of a new methodology. He is a hard-working and reflective person; those skills have brought a lot to the team during his state.”

Prof. Aritz Aranburu

Grazie