



Università Politecnica delle Marche
Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze dell'Ingegneria
Corso di Dottorato in Ingegneria Industriale

Virtual Prototyping: un approccio innovativo per la gestione del processo di sviluppo prodotto

Ph.D. Dissertation of:
Marco Matteucci

Supervisor:

Prof. Maura Mengoni

Assistant Supervisor:

Prof. Nicola Paone

Ph.D. Course coordinator:

Prof. F. Mandorli

XVI edition - new series



Università Politecnica delle Marche
Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze dell'Ingegneria
Corso di Dottorato in Ingegneria Industriale

Virtual Prototyping: un approccio innovativo per la gestione del processo di sviluppo prodotto

Ph.D. Dissertation of:

Marco Matteucci

Supervisor:

Prof. Maura Mengoni

Assistant Supervisor:

Prof. Nicola Paone

Ph.D. Course coordinator:

Prof. F. Mandorli

XVI edition - new series

Abstract

Nell'attuale contesto competitivo, il concetto di prodotto si è arricchito di servizi e sistemi accessori, mentre i relativi processi di sviluppo, produzione, trasporto e fine ciclo vita hanno accumulato complessità. In questa visione "prodotto-centrica", la gestione efficiente ed integrata di tutte le informazioni che interessano il prodotto nel ciclo di vita è divenuto un aspetto fondamentale per successo. Sulla scia di questa visione, ha iniziato a diffondersi nel mercato un nuovo approccio di gestione, che prevede una riorganizzazione degli approcci delle aziende al prodotto, con tutto quello che ne consegue in termini di processi e dei flussi informativi. A supporto di questa visione sono intervenute le nuove tecnologie informatiche. Sulla scia dell'evoluzione del Product Lifecycle Management, (PLM) in corso, le aziende hanno cominciato a dotarsi di sistemi informatici sempre più integrati con i processi sviluppati. Quest'evoluzione non è certamente senza costo e senza rischi. In particolare, le moderne tecnologie non hanno ancora assolto una integrazione ed interoperabilità completa e non consentono di rispondere appieno alle problematiche di controllo e tracciabilità di ogni prodotto. Guardando la situazione internazionale in ambito di ricerca in questo settore, sono in corso importanti studi sulla definizione del ciclo di vita del prodotto, noto come problema della tracciabilità di prodotto. Nella tesi, questo problema è risolto tramite l'adozione di un approccio definito come paradigma "Holonico, (dalla comunità HMS - Holonic Manufacturing Systems), ove un Holone è l'unità minima inseparabile di "prodotto fisico + informazione". L'approccio Holonico promette di risolvere buona parte dei problemi di gestione delle informazioni di prodotto, ponendo le informazioni stesse sul singolo oggetto fisico. In tale contesto, la tesi propone vari sistemi adattivi di supporto alla progettazione, produzione di prodotto. Sistemi che si interfacciano nelle varie fasi del ciclo vita del prodotto.

Sintesi

La tesi di dottorato è la sintesi di una serie di attività di ricerca perseguite nei tre anni di studi, secondo un primo piano di ricerca progettato a gennaio 2015 e variato nel corso degli anni. Occorre premettere come il dottorato di ricerca sia stato inquadrato all'interno di un progetto di ricerca in cotutela tra due realtà dalle radici diverse: il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche del Università Politecnica delle Marche e l'azienda Dafram s.p.a. I due cofinanziatori hanno provenienze ed aree di ricerche diverse, ma non mancano i punti di contatto. Tale condizione ha permesso la generazione di un risultato che, innegabilmente, dimostra una connotazione a due "polmoni": una serie di attività di ricerca in linea con gli orientamenti tipici dell'Ingegneria Industriale ed una serie di attività che invece mantengono una linea, connessa alla realtà produttiva. Questa doppia connotazione ha quindi portato all'elaborazione di un output, che ad un inquadramento gestionale unisce una proposta innovativa di applicazione attinente al mondo della produzione.

Definizione delle attività di ricerca

L'attività di ricerca affidatami ad inizio del percorso di formazione consisteva nella analisi e nella comprensione di quel insieme di processi definiti con l'acronimo di Product Lifecycle Management (PLM). Dato questo compito sostanziale, iniziai a sviscerare il significato di questo acronimo, definendo contorni, componenti e caratteristiche, e quindi identificando aree potenziali di approfondimento. Nel corso dei tre anni, sono state affrontate diverse attività e sotto-attività di ricerca, andando ad approfondire lo studio di aree definite preliminarmente secondo un primo quadro di riferimento (ed una prima metodologia) e nel tempo modificatesi. Seguendo un percorso a verticalizzazione crescente, è possibile sintetizzare le attività realizzate come segue:

Analisi delle componenti del Product Life cycle Management. Per l'elaborazione di una definizione di PLM comprensiva dei diversi significati attribuiti nel mercato a tale acronimo sono state condotte diverse attività di ricerca, affrontate con metodologie diverse, che hanno interessato

- (i) lo studio dello stato dell'arte sotto l'acronimo commerciale di PLM

(ii) Lo studio di casi aziendali di rilievo. Da questa attività, si è quindi potuto formulare una definizione generale che considera il fenomeno un nuovo modello di business, che attraverso l'ausilio di tecnologie informatiche, permette una gestione collaborativa in tutte le fasi. In tale definizione sono pertanto presenti i diversi elementi costitutivi del PLM.

(iii) Definizione delle aree ove la ricerca è chiamata a contribuire in ambito PLM. Dalla prima attività di definizione, si sono individuate diverse aree di ricerca, di natura diversa, definendo una serie di research questions di varia natura, dal carattere strategico, tattico ed operativo, ma anche tecnologico, informativo ed infrastrutturale. Le diverse questioni di ricerca sono state quindi condivise, individuando così una area di indagine ove far confluire le intuizioni e le competenze di ricerca di entrambi, Università e azienda. Per i motivi che sono meglio chiariti nella tesi, si è provveduto ad individuare come area di approfondimento la tematica sinteticamente individuata con "studio di sistemi adattivi", attinente alla gestione di prodotto dalla fase di progettazione alla fase di realizzazione.

(iv) Definizione del contributo innovativo. All'interno sotto-contesto, si è provveduto ad uno studio dello stato dell'arte, mantenendo la visione più ampia proveniente dalla definizione PLM elaborata. In effetti, proprio la provenienza da una visione "generale", ha permesso l'individuazione e la definizione di uno spazio di ricerca ove apportare un forte contributo innovativo, consistente nello sviluppo di sistemi che si interfaccino nell'intero ciclo vita del prodotto. Il modello proposto corrisponde ad un salto innovativo fondamentale nella gestione integrata dei dati di prodotto, che vede nell'applicazione di metodologie/tecnologie quali Virtual Reality, Mixed Reality, Augmented Reality, una soluzione ad alcuni dei problemi maggiormente presenti nel contesto produttivo. Il modello così realizzato, nei limiti dei suoi contenuti, è stato validato attraverso alcuni casi aziendali.

Ambito della ricerca ed obiettivi

Oggi, in questo contesto competitivo senza barriere, le aziende devono scontrarsi con prodotti sempre più complessi e con tempi di consegna sempre minori. La sopravvivenza è legata fortemente alla soddisfazione delle richieste di clienti, divenuti sempre più esigenti in termini di qualità e servizi. Per mantenere o creare vantaggi competitivi, le moderne imprese devono spingere ad un miglioramento costante dell'efficienza interna ed esterna, eliminando i costi non a valore aggiunto (MUDA), e, parallelamente,

adooperandosi in una continua tendenza all'innovazione, espressa nei suoi termini più ampi di prodotto, processo, sistema, organizzazione. In quest'ambito, si sta affermando la centralità del prodotto, secondo la quale il "prodotto" è inteso come il vero elemento creatore di valore. Conseguentemente, si sta verificando una rinnovata attenzione al macro processo di creazione e gestione del ciclo di vita del prodotto. In questa rifocalizzazione, il prodotto si è però intrinsecamente arricchito di servizi e sistemi accessori ormai imprescindibili, mentre i relativi processi di sviluppo, produzione, distribuzione e dismissione hanno accumulato complessità. In questa visione "prodotto-centrica", la gestione efficiente ed integrata di tutte le informazioni associate "lungo" e "nel" ciclo di vita di un prodotto è divenuto un "must" per il successo. Basandoci su questa logica il ci sono nuovi approcci di gestione, che prevedono un ri-orientamento dell'azienda verso prodotto, ovviamente con tutto quello che ne consegue in termini di rivisitazione o riprogettazione dei processi e dei flussi di informazioni . A supporto di questa tendenza, sono intervenute le tecnologie informatiche, in particolare di natura web-based. Negli ultimi anni, numerosi fornitori ICT hanno iniziato a sviluppare ambienti integrati di progettazione e gestione delle informazioni di prodotto: il mondo dell'ingegneria tecnica, caratterizzato da anni di sviluppo di tecnologie Computer-Aided, si sta man mano connettendo al mondo dell'ingegneria gestionale ed ai relativi sistemi IT, migliorando così la gestione di tutte le informazioni concernenti al prodotto ed alla sua realizzazione. A tale tendenza, negli ultimi anni, il mercato dell'ICT ha dato nuove definizioni: PLM (Product Lifecycle Management). Nell'ottica del continuo miglioramento, le aziende hanno cominciato a sensibilizzarsi e introdurre nelle loro realtà, sistemi informativi sempre più integrati; tale integrazione è sostanzialmente realizzata tramite sistemi di condivisione delle informazioni corrispondenti a database distribuiti. Quest'evoluzione ha un costo, sia per l'infrastruttura necessaria sia per il supporto necessario per il funzionamento, infatti non è certamente esente da rischi né da lacune. In particolare, le moderne tecnologie non hanno ancora assolto una integrazione ed interoperabilità completa e non consentono di rispondere appieno alle problematiche di controllo e gestione di ogni prodotto, benché questa sia una delle esigenze più sentite dall'opinione pubblica, in termini di servizio richiesto. Nei sistemi più avanzati, il prodotto non è ancora visto nella sua unicità, ma al massimo è definito nella sua tipicità (cioè nella sua classe di appartenenza). Guardando al mondo della ricerca nazionale e internazionale, in questo settore sono in corso importanti studi sulla definizione del ciclo di

vita del prodotto. In particolare, presso centri di ricerca internazionali come i laboratori Auto-Id del MIT (USA) e di Cambridge (UK), o i laboratori del CRAN (Francia) sono attivi interessanti studi sulla tracciabilità di prodotto, intesa come capacità di poter unire le informazioni di ogni singola parte del prodotto per avere una visione generale. Tale unione è in grado di gestire una serie di facilitazioni nella gestione delle informazioni di prodotto attraverso le diverse fasi di vita, dalla logistica, al controllo di produzione, fino alla manutenzione remota. Quest'approccio è stato definito come paradigma "Olonico", secondo la definizione di Olone ereditata da Arthur Koestler (1967), fatta propria dalla comunità di ricerca mondiale HMS (Holonc Manufacturing Systems; un Olone è l'unità minima inseparabile di "prodotto fisico + informazione". **L'approccio Olonico promette di risolvere buona parte dei problemi di gestione delle informazioni di prodotto, ponendo le informazioni stesse sul singolo oggetto fisico**, usando tecnologie, dalla trasmissione in radio frequenza RFID. Le applicazioni prototipali attualmente in fase di studio si incentrano nelle fasi di logistica esterna ed interna, nell'automazione della produzione e della manutenzione programmata o remota. Le frontiere più avanzate prevedono una "Olonificazione" di tutto il ciclo vita del prodotto partendo dalla fase di "Design", addirittura partendo da prima dalla richiesta da parte di cliente di specifiche di prodotto, passando per le fasi di progettazione, cercando di creare un prodotto "intelligente", capace di vita propria all'interno di un sistema produttivo e logistico. All'interno di tale contesto, la tesi di ricerca assolve due obiettivi principali: Studiare e definire il fenomeno gestionale che si sta andando a delineare sotto l'acronimo PLM, individuando le aree effettivamente coinvolte e le ricadute in termini di futuri interventi di ricerca

Sviluppare un modello di riferimento dell'approccio Olonico al problema della tracciabilità di prodotto lungo il life cycle. In particolare, con "modello di riferimento" si intende il raggiungimento di due sotto obiettivi e la formalizzazione degli stessi in uno schema di rappresentazione:

- a) Identificazione di una modalità di rappresentazione Olonica delle informazioni di prodotto/processo, al momento ancora non esistente in letteratura.
- b) Definizione dei contenuti informativi del modello (quali tipi di dati possono essere riportati sull'Olone prodotto) in corrispondenza delle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto (progettazione, realizzazione, uso e dismissione) e delle diverse attività coinvolte (es. fabbricazione, distribuzione, manutenzione).

In questo senso, la tesi di dottorato si colloca all'interno di uno scenario strettamente innovativo, giacché intende contribuire agli sviluppi attualmente più avanzati nell'ambito della ricerca mondiale in area Operation.

Metodologie e risultati

Il conseguimento delle diverse attività e sotto attività di ricerca è stato realizzato attraverso l'adozione di metodologie di ricerca differenti. In particolare, a fianco della costante presenza di un'analisi bibliografica e delle referenze nelle diverse attività, occorre segnalare quanto segue:

Per la comprensione del significato e dei confini del PLM, ci si è avvalsi, oltre che di un'analisi delle soluzioni marcate "PLM", anche di un'analisi empirica esplorativa, condotta con interviste dirette in alcuni casi emblematici italiani. I risultati si sono espressi sviluppando metodologie che interessano fasi del ciclo vita in particolare nelle fasi di offerta a cliente e nelle fasi di produzione relativamente alla parte di assemblaggio di componenti.

Contents

1. Capitolo 1: INTRODUZIONE

1.1	INTRODUZIONE.....	1
1.2	DOMANDE DI RICERCA.....	1
1.2.1	DEFINIZIONE DEL CICLO VITA PRODOTTO	2
1.2.2	TIPOLOGIA DEI COSTI DEL CICLO VITA	2
1.2.2.1	CONVENTIONAL LIFE CYCLE COSTING (CLCC O LCC)	3
1.2.2.2	CONVENTIONAL LIFE CYCLE COSTING (CLCC O LCC)	3
1.2.2.3	SOCIETAL LIFE CYCLE COSTING (SLCC)	3
1.3	MODELLO DEL COSTO DEL CICLO VITA	4
1.3.1	ELEMENTI DI LCC	5
1.3.2	STRUTTURA DEL COSTO CICLO VITA.....	8
1.3.3	DIFFERENZA TRA IL COSTO DEL CICLO DI VITA E L'ANALISI DEI COSTI DEL CICLO DI VITA.....	9

2. Capitolo 2: IL CONTESTO DI RIFERIMENTO E PROBLEMI DI GESTIONE DEL CICLO

2.1	ELEMENTI DI PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT (PLM).....	12
2.1.1	INTRODUZIONE	12
2.1.2	FASI DEL CICLO VITA PRODOTTO	13
2.1.3	MODELLO DI RIFERIMENTO DEL CICLO VITA PRODOTTO	17
2.2	ELEMENTI E FUNZIONALITA' DEL PLM	18
2.2.1	EVOLUZIONE DEL INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY NEI PROCESSI DI PROGETTAZIONE	18
2.2.2	EVOLUZIONE DEL ICT NEI PROCESSI DI GESTIONE OPERATIVA	20
2.2.3	EVOLUZIONE DEL ICT NEI PROCESSI DI SUPPORTO.....	20
2.2.4	FONDAMENTI DI PLM IN ICT.....	21
2.3	PROCESSI DEL CICLO VITA PRODOTTO	28
2.4	STATO DELL'ARTE DEGLI HMS HOLONIC MANUFACTURING SYSTEM.....	33
2.4.1	INTRODUZIONE A HMS	34
2.4.2	DEFINIZIONE DI HMS	36
2.4.3	COMPORAMENTO DELL'OLONE	37
2.4.4	CONCETTO DI OLONE NELLA PRODUZIONE:HMS	38
2.4.5	STATO DELL'ARTE IN HSM.....	39
2.4.5.1	ARCHITETTURA DI SISTEMA.....	39
2.4.5.2	ARCHITETTURE GERARCHICHE VS ETERARCHICHE	39
2.4.5.3	OLONI NELLA PROGRAMMAZIONE E CONTROLLO DELLA PRODUZIONE	42

3. Capitolo 3: VIRTUAL PROTOTYPE: DEFINIZIONE DI PROTITPO VIRTUALE IN PLM

3.1	CONCETTI E CLASSIFICAZIONE	44
3.2	VANTAGGI DEI PROTOTIPI DELLA PROTOTIPAZIONE.....	44
3.3	RISCHI DEI PROTOTIPI / DELLA PROTOTIPAZIONE.....	45
3.4	PROTOTIPI VIRTUALI E PROTOTIPAZIONE VIRTUALE	46
3.5	DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE.....	46
3.6	METODI DI PROTOTIPAZIONE VIRTUALE	46
3.7	VANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE FISICA E SVANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE VIRTUALE	52
3.8	VANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE VIRTUALE E SVANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE FISICA.....	53
3.9	PANORAMICA DELLE ATTUALI TECNOLOGIE DI INTEGRAZIONE	55
3.10	CENNI DI PROTOTIPAZIONE PARAMETRICA	55

4. Capitolo 4: PROPOSTE DI MODELLI DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE NELL'INTERO CICLO VITA PRODOTTO

4.1	INTRODUZIONE	57
4.2	LEAN COST	58
4.2.1	METODOLOGIE DI DESIGN TO COST	59
4.2.2	METODO	61
4.2.3	SISTEMA DI STIMA DEI COSTI DI PRODUZIONE	64
4.2.4	UNA METODOLOGIA PER APPLICARE UNA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE PER IL COSTO	67
4.3	CASO STUDIO DAFRAM.....	69
4.3.1	STUDI PRELIMINARI.....	72
4.3.2	FASI DI SPERIMENTAZIONE	76
4.4	METODOLOGIA A STEP.....	88
4.4.1	LAVORI CORRELATI	89
4.4.2	LA METODOLOGIA MULTIPATH.....	93
4.5	CASO STUDIO ELICA	100
4.5.1	STUDI PRELIMINARI	105
4.5.2	RILIEVI ON SITE.....	107
4.5.3	MODELLAZIONE E SIMULAIZONE DEL PROCESSO.....	110
4.5.4	ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DEI RISULTATI.....	112
4.6	TAR TANGIBLE AUGMENTED REALITY PLATFORM	127
4.6.1	UNA PANORAMICA DI TECNOLOGIE INCENTRATE SUL LAVORO UMANO	128
4.6.2	ARCHITETTURA PRELIMINARE DI SISTEMA	130
4.6.3	CASO STUDIO APPLICAZIONE TAR.....	133
4.6.4	SVILUPPO MODULO ERGONOMICO.....	134
4.6.5	SVILUPPO MODULO LEARNING	146
4.6.5.1	SOFTWARE UNITY ENGINE.....	147
4.6.5.2	INTERFACCIA UNITY.....	148

4.6.5.3	PROGETTI IN UNITY	150
4.6.5.4	ASSET E ASSET STORE.....	151
4.6.5.5	FASI OPERATIVE.....	152
5. Capitolo 5:	CONCLUSIONI DISCUSSIONE	162
REFERENCES.....		165

List of Figures

- Fig 1 struttura del costo del ciclo vita*
- Fig 2 Albero dei costi di Barringer*
- Fig 3 Modello di evoluzione ciclo vita prodotto*
- Fig 4 Fasi ciclo vita prodotto*
- Fig 5 Modello GERAM*
- Fig 6 Modello generale di ciclo vita prodotto*
- Fig 7 Modello di riferimento suite plm, CIMData*
- Fig 8 VCOR Value Chain Operation Reference*
- Fig 9 Approccio Top-Down*
- Fig 10 Olarchia in un Sistema di alghe*
- Fig 11 HMS Sistema Olonico*
- Fig 12 Architettura MESA*
- Fig 12 Assieme in Solidworks (2018)*
- Fig 13 Assieme renderizzato in Pro/Engineer (2018)*
- Fig 14 Assieme renderizzato in Alias Studio, Autodesk (2018)*
- Fig 15 Assieme Boing 777*
- Fig 16 Scansione di un'auto in reverse engineering*
- Fig 17 Uso del modello fisico nello sviluppo di un processo (Anderl)*
- Fig 18 Struttura di Lean Cost*
- Fig 19 Esempio di tornitura cilindrica*
- Fig 20 Architettura Lean Cost*
- Fig 21 Interfacce Lean Cost per i reparti aziendali*
- Fig 22 Metodologia per implementazione nel caso studio*
- Fig 23 Logo Drafram*
- Fig 24 Valvola trunnion Drafram*
- Fig 25 Skid con valvole Drafram*
- Fig 26 Simulazione elementi finiti componenti valvola*
- Fig 27 Scomposizione funzionale prodotto "Valvola a sfera"*
- Fig 28 Moduli nel prodotto "Valvola a sfera"*
- Fig 29 Moduli inseriti nella distinta base "Valvola a sfera"*
- Fig 30 Prodotti Drafram*
- Fig 31 Processo di generazione offerta AI-IS TO-BE*
- Fig 32 Lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo*
- Fig 33 Architettura Lean Cost*
- Fig 34 Disegno esecutivo corpo valvola*
- Fig 35 Modello 3D semplificato*
- Fig 36 Sezione modello 3D semplificato*
- Fig 37 Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche*
- Fig 38 Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche*
- Fig 38a Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche*
- Fig 38b Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche*
- Fig 38c Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche*

Fig 39 Comparazione tra costo a consuntivo e costo elaborato da software
Fig 40 Metodologia a step
Fig 41 Logo Elica
Fig 42 Pilastri della World Class Manufacturing
Fig 43 Foto prodotto cappa ELITE 14
Fig 44 Caratteristiche prodotto cappa ELITE 14
Fig 45 Attività ciclo di assemblaggio
Fig 46 IDEF0 ciclo di assemblaggio
Fig 47 Layout camere
Fig 48 Layout stabilimento stazioni 1-2
Fig 49 Layout stabilimento stazioni 3-4
Fig 50 Foto stabilimento stazioni 1-2
Fig 51 Foto stabilimento stazioni 3-4
Fig 52 Modello stazioni di assemblaggio
Fig 53 Modello stazioni di assemblaggio con Virtual Manikin
Fig 54 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 55 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 56 Analisi ergonomica RULA
Fig 57 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 58 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 59 Analisi ergonomica RULA
Fig 60 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 61 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 62 Analisi ergonomica RULA
Fig 63 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 64 Analisi ergonomica RULA
Fig 65 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 66 Analisi ergonomica RULA
Fig 67 Analisi ergonomica RULA
Fig 68 Analisi ergonomica RULA migliorata
Fig 69 Analisi ergonomica RULA comparativa
Fig 70 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 71 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 72 Analisi ergonomica RULA
Fig 73 Analisi ergonomica RULA
Fig 74 Analisi ergonomica RULA comparativa
Fig 75 Analisi ergonomica RULA comparativa
Fig 76 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio
Fig 77 Analisi ergonomica RULA
Fig 78 Analisi ergonomica RULA
Fig 79 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità
Fig 80 Analisi ergonomica RULA comparativa
Fig 81 Analisi ergonomica NIOSH comparativa
Fig 82 Architettura di sistema Tangible Augmented Reality
Fig 83 Learning module / Ergonomic module

Fig 84 Ergonomic module
Fig 85 Home page platform TAR
Fig 86 Programmazione in Microsoft Visual Studio 2017
Fig 87 Allert medio rischio Ergonomic module
Fig 88 Allert alto rischio Ergonomic module
Fig 89 Learning Module
Fig 90 Logo Unity Engine
Fig 91 Interfaccia Unity Engine
Fig 92 Interfaccia operativa Unity Engine
Fig 93 Interfaccia progetto Unity Engine
Fig 94 Asset store Unity Engine
Fig 95 Scanner Vuforia SDK
Fig 96 Scansione acquisita Vuforia SDK
Fig 97 Test funzionalità Vuforia SDK
Fig 98 Target DB Vuforia SDK
Fig 99 Assieme in unity
Fig 100 Layout Kinect
Fig 101 Esempio montaggio cellulare fase 1
Fig 102 Esempio montaggio cellulare fase 2
Fig 103 Esempio montaggio cellulare fase 3

List of Tables

- Tab 1 Modello di ciclo vita in relazione ai flussi di cassa*
- Tab 2 Legame tra modello di riferimento e fasi del ciclo vita prodotto secondo GERAM*
- Tab 3 Strumenti ICT per fase sviluppo prodotto*
- Tab 4 Processi principali dello sviluppo prodotto*
- Tab 5 Modello ENAPS*
- Tab 6 Caratteristiche principali di un modello di controllo di produzione*
- Tab 7 Comparazione tra prototipo virtuale e prototipo fisico*
- Tab 8 Correlazione tra fattori di rischio e tipologia di attività*
- Tab 9 Correlazione tra fattori di rischio e parametri umani e parametri legati al luogo di lavoro*
- Tab 10 Correlazione tra parametri umani, parametri legati al luogo di lavoro e metodi di valutazione del rischio muscolo-scheletrico*
- Tab 11 Correlazione tra metodi di valutazione e strumenti commerciali*

CAPITOLO 1.

1.1 INTRODUZIONE

All'interno del mondo concorrenziale reale, le imprese sono sempre più stressate e sottoposte ad elevate richieste di mercato. I clienti sono diventati sempre più esigenti in termini di qualità e servizi secondari. Il miglior prodotto, al prezzo più basso, al momento giusto e nel posto giusto. Al fine di mantenere i vantaggi competitivi, l'impresa moderna deve investire in due direzioni principali:

- Migliorare l'efficienza interna ed esterna, eliminando tutto ciò che non è a valore aggiunto per il prodotto (muda).
- Innovazione: innovazione di prodotto, processo, struttura e organizzazione.

Secondo queste esigenze, le imprese devono concentrarsi sulle loro core competences al fine di migliorare le efficienze e azzerare le inefficienze.

Il prodotto varia di giorno in giorno, l'intero processo produttivo sta riscoprendo il suo ruolo. In questo modo, all'interno dello scenario globale, la produzione di prodotti e la gestione stanno diventando processi complicati dove più problemi si sovrappongono reciprocamente. Le attività di ingegneria sono pertanto enfatizzate, mentre le inefficienze nelle funzioni di produzione e distribuzione non sono tollerate. In questo modo, il ciclo di vita del prodotto e la relativa gestione stanno diventando aspetti fondamentali, creando un "prodotto centrico." La gestione integrata delle informazioni riguardanti il "prodotto" e la sua fabbricazione è uno dei temi centrali.

1.2 **DOMANDE** DI RICERCA

All'interno del contesto presentato, al candidato è stato chiesto di formulare la sua proposta di ricerca tenendo conto delle competenze dei due co-finanziatori. Il dottorato di ricerca è stato inquadrato all'interno di un progetto di ricerca in co-tutela tra due realtà dalle radici diverse: il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche del Università Politecnica delle Marche e l'azienda Dafram s.p.a. I due co-finanziatori hanno provenienze ed aree di ricerche diverse, ma non mancano i punti di contatto. Questa situazione ha permesso la nascita di questa tesi di dottorato, generando un risultato che innegabilmente dimostra una connotazione a due "polmoni": una serie di attività di ricerca in linea con gli orientamenti tipici dell'Ingegneria Industriale ed una serie di attività che invece mantengono una linea, connessa alla realtà produttiva. Questa doppia connotazione ha quindi portato all'elaborazione di un output originale, che una proposta innovativa di applicazione attinente al mondo della produzione.

Approfittando della tutela bilaterale, la macro ricerca è stata identificata nella zona denominata PLM (Product Lifecycle Management).

1.2.1 DEFINIZIONE DEL CICLO VITA PRODOTTO

Simile al modello LCA è il core che guida il modello LCC, con la sostanziale differenza che quest'ultimo si concentra sull'analisi del ciclo di vita di un prodotto da un punto di vista esclusivamente economico. Infatti, il fine ultimo dell'LCC è fornire all'azienda un utile strumento di gestione aziendale che permetta di comprendere dove intervenire per ridurre i costi relativi a un prodotto ed alla sua fabbricazione. Il modello LCC si sviluppò seriamente nel corso degli anni '70, soprattutto in riferimento alla produzione di armi per l'esercito statunitense e al programma di costruzione di edifici pubblici in vari stati Americani. Anche in Europa, verso la metà degli anni '70, l'LCC ha attirato l'attenzione del settore pubblico. Questo metodo è stato applicato a molte situazioni, ciò dimostrato dai numerosi standards che si sono susseguiti nel corso degli anni, come ad esempio: IEC 60300- 33 (International Electrotechnical Commission, 2004), ISO 15663 (International Standards Organization, 2000-2001), DoD 1973 (UD Department of Defense, 1973) e AS/NZS 4536 (Standards Australia and Standards New Zealand, 1999), solo per citarne alcuni (SETAC, 2008). Si possono individuare delle fasi principali, il cui numero dipende sensibilmente dal tipo di analisi che si vuole condurre. In generale, le fasi principali da considerare sono quattro [1];

- Reperimento/Acquisizione delle materie prime (si possono aggiungere i costi di R&D);
- La fase operativa o di utilizzo;
- La fase riguardante i costi di manutenzione e le eventuali sostituzioni di componenti e parti di ricambio di macchinari, etc;
- La fase di dismissione del prodotto.

Il Costo Totale di Possesso (TCO, Total Cost of Ownership) e l'Activity- Based Costing (modello ABC). Il primo è definito come la "somma del costo d'acquisto di un prodotto, incrementato di tutte le spese sostenute dall'acquirente durante la sua vita utile, al netto del prezzo di liquidazione". Il metodo TCO ha il suo focus principale nella fase di acquisizione e in quella di uso effettivo (manutenzione, supporto, etc.) mentre ha la tendenza a trascurare le altre fasi tipiche della vita di un prodotto [2]. Il secondo approccio (modello ABC), calcola il costo associato a un dato prodotto tramite la valutazione dei costi riferiti alle attività svolte nel ciclo di vita dello stesso prodotto. In altre parole, il modello ABC prevede la valutazione di tutte le attività che compongono il sistema azienda, per poi selezionare quelle specifiche attività da assegnare al prodotto in esame [2]. Tuttavia, entrambi questi approcci, simili per certi aspetti all'LCC, presentano delle limitazioni significative, dovute principalmente alla loro mancanza di considerazione del ciclo di vita del prodotto.

1.2.2 TIPOLOGIA DEI COSTI DEL CICLO VITA

Esistono diverse tipologie di LCC, che differiscono sensibilmente l'una dall'altra. I vari modelli si sono sviluppati per soddisfare le diverse necessità del management nel corso del tempo. Si ricollegano al concetto di TBL (Triple Bottom Line), che affronta in modo integrato le componenti aziendali da un punto di vista economico, sociale ed ambientale. Le tre

tipologie di LCC descritte più avanti sono: il Conventional LCC, l'Environmental LCC ed il Social LCC [3].

1.2.2.1 CONVENTIONAL LIFE CYCLE COSTING (CLCC O LCC)

Il primo, in termini temporali, è il “Conventional LCC” che, oramai, è comunemente abbreviato in LCC e si sostanzia nella misurazione e calcolo di tutti i costi associati a un particolare prodotto durante le varie fasi del suo ciclo di vita, seguendo il filo logico del “cradle to grave” (letteralmente: “dalla culla alla tomba”). Le varie voci di costo devono essere attualizzate secondo un tasso d'interesse che può corrispondere al tasso d'inflazione presente al momento della stesura del modello, e di conseguenza deve avere un arco temporale di riferimento prestabilito [3]. Solitamente, anche il modello LCC, così come il modello LCA, è suddiviso in quattro fasi principali che fanno però riferimento alle quattro voci di costo più importanti: l'acquisizione delle materie prime (si può decidere, se ne vale la pena, di considerare in una fase separata i costi di ricerca e sviluppo, altrimenti inglobati nel processo); i costi riferiti alla produzione, all'uso del prodotto e alla gestione dello stesso; i costi di manutenzione; e infine i costi collegati allo smaltimento o alla dismissione del prodotto. La prospettiva di questa tipologia di LCC è indirizzata al mercato, non considera, nella sua struttura tipica, elementi quali le emissioni inquinanti provocate nel processo produttivo (come l'LCA o l'ELCC) o il costo del lavoro (come il SLCC), e proprio per questa ragione è considerata alquanto limitante, incapace di fornire una visione globale del processo di vita di un prodotto [4].

1.2.2.2 ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE COSTING (ELCC)

Poco conosciuta, questa tipologia di LCC rappresenta un notevole passo avanti rispetto alla versione tradizionale. Essa combina elementi di LCC ad altri appartenenti al modello LCA, considerando quindi sia i costi relativi al ciclo di vita di un prodotto sia le esternalità prodotte lungo lo stesso, che sono anticipate per essere poi interiorizzate in un secondo momento. In altre parole, i costi connessi alle esternalità derivanti dalle varie fasi vengono, in teoria, considerati all'interno dei processi aziendali in modo da essere presentati da un punto di vista economico. Per ottenere l'internalizzazione delle esternalità vi sono alcuni modelli e teorie anche molto diverse tra loro che fanno riferimento, ad esempio, ai costi esterni, agli eco-costi o al concetto di “willingness to pay” (disponibilità a pagare) che saranno spiegati meglio nel capitolo dedicato all'ELCC [4].

1.2.2.3 SOCIETAL LIFE CYCLE COSTING (SLCC)

L'ultimo modello da prendere in considerazione è il SLCC, che rappresenta un'ulteriore evoluzione del modello LCC. Esso comprende, come le altre due tipologie, la valutazione di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto da un punto di vista economico e

ambientale, considerando in più la valutazione degli impatti a livello sociale (utilizzando ad esempio il metodo della “disponibilità a pagare” o “willingness to pay”) [2]. Infatti, il Social LCC si propone di andare oltre il concetto di esternalità a livello strettamente ambientale. In altre parole, il SLCC viene usato per quantificare gli impatti ambientali, derivanti dalla produzione di un determinato prodotto, sulla società e in termini monetari. L’analisi SLCC è particolarmente importante se si assume l’ottica del Corporate Social Responsibility (CSR), concetto che si sta rivelando quanto mai indispensabile per la corretta gestione di un’azienda, vista la necessità di condurre politiche societarie globali sempre più responsabili. Una delle differenze più rilevanti, che contraddistinguono il metodo SLCC rispetto agli altri descritti in precedenza, riguarda il coinvolgimento dei portatori d’interesse. In altre parole, se nelle precedenti analisi gli interessi e gli impatti sui vari stakeholders non erano presi in considerazione (o quantomeno considerati limitatamente), nella SLCC rivestono un ruolo di primo piano. I diversi impatti sociali sono valutati riguardo a cinque categorie principali di stakeholders [5]:

- Lavoratori dipendenti;
- Comunità locale;
- Società;
- Consumatori;
- Attori del ciclo di vita.

Per ognuna di tali categorie è possibile individuare obiettivi e impatti diversi che possono far variare i confini del sistema scelti inizialmente. Un’ulteriore differenza è rappresentata dalla forte connotazione geografica che contraddistingue l’analisi SLCC. L’analisi varia sensibilmente se si considerano aree geografiche rurali e urbane, così com’è sicuramente diverso considerare regioni sviluppate e regioni con un alto tasso di povertà. Tuttavia, pur essendo estremamente interessante e dalle notevoli potenzialità, il modello SLCC è estremamente poco sviluppato, a causa delle notevoli difficoltà di utilizzo. Infatti, svolgere un’analisi con tecniche di indagine quasi esclusivamente qualitative (per quanto riguarda la dimensione sociale) presenta numerose insidie, come ad esempio la necessità che le persone intervistate (solitamente si utilizzano tecniche di intervista diretta o indiretta) abbiano una profonda conoscenza delle tematiche trattate o che siano moralmente prive di pregiudizi verso l’azione aziendale (si pensi alla difficoltà di intervistare, ed ottenere risposte attendibili, su di una problematica relativa alla salute umana, causata da un’azienda operante sul territorio, da persone che convivono con i disagi provocati dalla stessa azienda). Per queste ragioni, la tipologia di analisi SLCC non verrà trattata approfonditamente nel corso di questo elaborato, anche se potrebbero esserci interessanti sviluppi futuri legati ad essa. Questa breve disamina sulle differenti tipologie di LCC aveva l’obiettivo di far comprendere come tale argomento sia estremamente variegato e presenti numerose sfumature. Tali tematiche saranno riprese in modo più specifico nel corso dello scritto.

1.3 MODELLO DEL COSTO DEL CICLO VITA

Il modello LCC persegue le linee guida che contraddistinguono il modello LCA e, più in generale, il Life Cycle Thinking, ossia la scuola di pensiero a cui si rifanno queste tipologie

di analisi. Da un punto di vista teorico, prima di iniziare l'analisi, è utile perseguire uno schema di riferimento che si sostanzia in quattro punti principali [1]:

Definire le varie strategie da valutare: come descritto nell'esempio LCA, per strutturare efficacemente l'analisi è necessario stabilire varie strategie per comparare i risultati;

- Identificare i criteri economici rilevanti: ogni analisi del ciclo di vita prende in considerazione determinate variabili che possono essere modificate a piacimento secondo gli obiettivi prefissati. In questo caso, bisognerà definire quelle variabili economiche rilevanti quali: il tasso di sconto scelto, il periodo di riferimento, etc.;
- Raggruppare i costi in categorie: ogni fase dell'analisi sarà caratterizzata per una determinata tipologia di costi (ad esempio, il costo per l'acquisto delle materie prime sarà attribuito alla prima fase dell'analisi). Tuttavia, vi sono alcune voci di costo che possono essere attribuite a diverse fasi del ciclo di vita e sarà necessario scegliere attentamente dove inserirle.
- Valutare il grado di incertezza: ogni analisi sui costi futuri possiede un grado di incertezza più o meno elevato. Sarà necessario stabilire un'analisi di sensitività, che possa prendere in considerazione vari scenari, per ridurre tale rischio.

Nonostante l'LCC sia l'analisi più antica in termini di applicazione, essa non è regolata da una standardizzazione ISO, ed è applicata secondo la norma ISO 14040, a cui fa riferimento l'LCA. Vi saranno dunque le quattro fasi descritte precedenza per l'LCA, che vengono riproposte brevemente per completezza:

- Definizione degli obiettivi: in questa fase vengono definiti gli obiettivi dell'analisi, l'unità funzionale, il campo di applicazione e i confini del sistema. A differenza dell'LCA, è consigliabile definire una struttura dei costi che si andranno ad analizzare, suddividendoli in varie categorie e nelle apposite fasi di processo. Inoltre, si dovrà scegliere il tasso di sconto che potrà essere recuperato dal tasso di inflazione BCE o scelto direttamente dal management.
- L'analisi di inventario (LCI): nella fase di inventario vengono recuperati i dati sui costi che andranno a comporre l'analisi.
- La valutazione dei costi: i costi vengono raggruppati in categorie e suddivisi in base alla loro appartenenza ad una determinata fase dell'analisi.
- L'interpretazione dei risultati: la fase finale dell'analisi corrisponde all'interpretazione dei risultati dell'analisi. Tale fase si presta a svariate interpretazioni ed è liberamente eseguibile a seconda della volontà del management.

1.3.1 ELEMENTI DI LIFE CYCLE COSTING

Al fine di condurre un'analisi LCC adeguatamente svolta, risulta particolarmente importante comprendere alcuni elementi base dell'analisi. Per far questo, in seguito saranno riportati alcuni elementi fondamentali per svolgere un'analisi accurata. I principali obiettivi di un'analisi LCC, secondo il Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS), sono:

- Permettere alle varie opzioni di investimento di essere valutate in modo più efficiente;

- Considerare gli impatti di tutti i costi relativi ad un prodotto, piuttosto del solo costo iniziale di un investimento;
- Facilitare la gestione efficiente del management relativa ai vari progetti attuati;
- Facilitare le scelte tra alternative differenti.
Per raggiungere questi obiettivi è necessario identificare i vari elementi principali che compongono un'analisi LCC, tra cui i più importanti sono [1];
- Il costo iniziale, o investimento iniziale;
- Il periodo di tempo da considerare;
- Il tasso di sconto o tasso d'interesse;
- I costi operativi e di manutenzione;
- I costi di dismissione o smaltimento.

L'investimento iniziale

Tale costo d'investimento può essere suddiviso in altre categorie o voci di costo, di cui le principali possono essere:

- Costo di acquisto dei materiali, materie prime, etc.;
- Costi di ricerca e sviluppo (R&D);
- Costi di installazione, trasporto dei materiali, etc.

Tali categorie di costo sono in assoluto le prime voci ad entrare nell'analisi, poiché rappresentano il primo passo del ciclo di vita del prodotto. I costi di R&D sono, di solito, di difficile individuazione ma possono essere stimati o inseriti come percentuali nelle altre voci di costo.

Il periodo di riferimento

Fondamentale ai fini dell'analisi è individuare il corretto arco temporale di riferimento. Non ha senso scegliere un periodo di 100 anni se si sta analizzando il ciclo di vita di un bene non durevole che ha una vita utile di cinque anni. Per evitare analisi inattendibili è doveroso scegliere differenti archi temporali, così da ottenere un'analisi molto più flessibile. Scegliere diversi periodi di tempo può essere utile anche se si considerano prodotti soggetti a innovazioni, che potrebbero andare a modificare drasticamente i parametri dell'analisi.

Il tasso di sconto

Analizzare il ciclo di vita di un prodotto per quanto riguarda la prospettiva dei costi comporta la necessità di attualizzare tali costi per il loro valore attuale netto. A tal fine bisogna selezionare il tasso di sconto adeguato, che può essere identificato nel tasso di inflazione fornito dalla Banca Centrale Europea o in alternativa scelto dal management. La scelta non deve essere casuale poiché scegliere un elevato tasso comporta l'enfatizzazione delle previsioni di breve periodo, l'esatto opposto nel caso si scelga un modesto tasso di sconto. In generale, il tasso di sconto viene scelto su di un intervallo compreso tra il 2.00% e il 4.00%. Di solito in aggiunta al tasso di sconto si identifica anche il tasso di inflazione che nella maggior parte dei casi è scelto anch'esso su di un intervallo 2.00-4.00%. Combinati, si otterrà il fattore di sconto reale con cui sarà possibile calcolare accuratamente i costi futuri attualizzati [6].

Fattore di sconto = $1/(\text{tasso di sconto} - \text{tasso di inflazione})^n$

Ad esempio impostando un tasso di sconto al 2% e un tasso di inflazione al 3% il fattore di sconto al ventesimo anno di ciclo di vita sarà 1,21.

I costi operativi e di manutenzione

Per quanto riguarda i costi operativi, in un'analisi LCC comprendono quasi esclusivamente le spese energetiche necessarie al processo di produzione e, più in generale, al funzionamento dell'azienda in tutti i suoi aspetti. Ovviamente, essendo l'LCC un'analisi flessibile e non esistendo un modo univoco di condurla, vi si possono inserire altre voci di costo in questa particolare categoria, come ad esempio i costi di manodopera, diretti o indiretti, che però solitamente non sono inseriti nell'analisi LCC classica. I costi di manutenzione sono un'altra categoria di costi che si presta a numerose sfumature. In generale, vi è la tendenza a considerare all'interno di tale categoria quelle voci di costo che si possono ricollegare alla manutenzione sui macchinari o sugli impianti di produzione. È utile suddividere tale categoria in diverse sezioni che corrispondono alla frequenza con cui vengono effettuati interventi di manutenzione:

- Manutenzione ordinaria: rientrano in questa sub-categoria quei piccoli interventi di manutenzione eseguibili da personale interno all'azienda o che in ogni caso non comportano delle interruzioni prolungate della produzione;
- Manutenzione pianificata: interventi di manutenzione pianificati, solitamente intercorsi tra più anni, simili a delle revisioni;
- Manutenzione straordinaria: sono quegli interventi inattesi e che comportano perdite di tempo notevoli nella produzione.

Pianificare una buona politica di controllo e di manutenzione è fondamentale per ridurre il rischio di affrontare perdite rilevanti di tempo e denaro connesse alle manutenzioni straordinarie. Ai fini dell'analisi si dovrà tenere in considerazione la possibilità che intercorrano tali spese aggiuntive, che nella maggior parte dei casi comportano elevati costi. Tuttavia, molto spesso ottenere dati specifici che consentano di identificare i diversi interventi di manutenzione risulta difficile poiché le aziende possono anche non tener conto di queste differenze e contabilizzare i costi relativi ad interventi di questo tipo sotto un'unica voce di costo.

Costi di dismissione e smaltimento

Questa categoria di costi è collegata allo smaltimento di rifiuti e scarti lungo il ciclo di vita del prodotto e al termine della sua vita utile. Tali costi saranno detratti dal valore residuo del prodotto al momento del disfacimento dello stesso. Nella pratica, come sarà ribadito nel quarto capitolo, calcolare questi costi basandosi unicamente sui dati forniti dall'azienda presso cui si svolge l'analisi è piuttosto arduo. Occorre allora basarsi su dati generici forniti da aziende specializzate nello smaltimento delle varie tipologie di costo. Riferendosi ai codici C.E.R. (catalogo europeo dei rifiuti) dei vari rifiuti è possibile trovare il prezzo unitario per ogni categoria di rifiuto e calcolare (ovviamente è necessario che vengano forniti i dati sulle quantità di rifiuti prodotti) autonomamente il costo dei vari rifiuti.

1.3.2 STRUTTURA DEL COSTO DEL CICLO VITA

Ci sono due principali categorie di costi per i quali i progetti devono essere valutati nel costo del ciclo di vita. Sono costi iniziali e costi futuri. Le spese iniziali sono tutti i costi sostenuti prima dell'inizio dell'attività. Le spese future sono tutte le spese sostenute dopo la messa in servizio del prodotto. [7] Si divide l'albero del costo del ciclo di vita in due parti principali: costi di acquisizione e costi di sostegno.

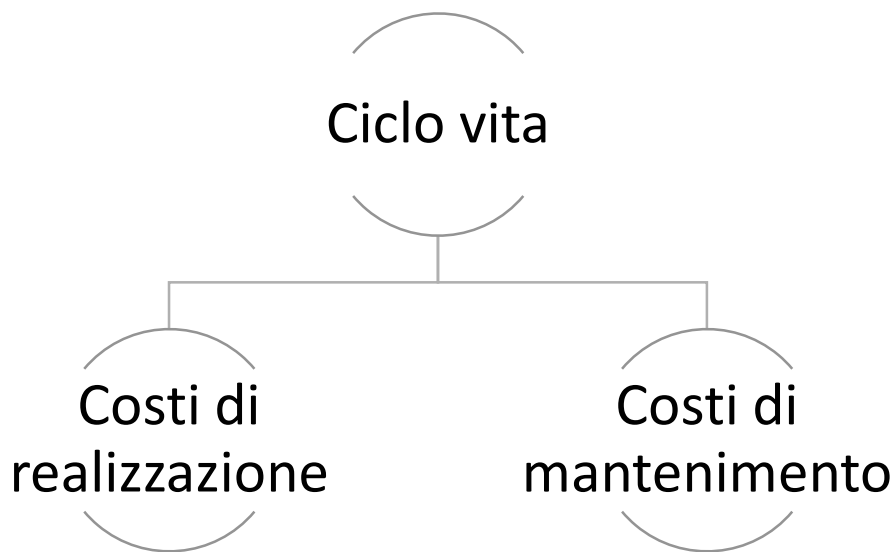


Fig 1 struttura del costo del ciclo vita

Come si può vedere in figura, [8] definisce i costi iniziali di costruzione come costi di acquisizione. La sua figura mostra che l'albero dei costi può essere suddiviso in due parti: costi di acquisizione e costi sostenuti. Rispetto alle prospettive che descrive Emblemsvåg [9], l'impostazione dell'albero di costo di Barringer [8] suggerisce che la sua prospettiva di condurre un'analisi del costo del ciclo di vita è una prospettiva del cliente. Emblemsvåg [9] descrive diverse prospettive. Dal punto di vista del costruttore, i costi di sostegno non sono preoccupanti per l'installazione. Dal punto di vista del cliente, tuttavia, come afferma chiaramente Barringer, i costi sostenuti sono presi in considerazione. Emblemsvåg conferma infatti che Barringer visualizza una prospettiva del cliente.

Anche se i costi di acquisizione possono essere molto importanti per un'analisi LCC, essi possono essere considerati come parametri di input semplici derivanti da una serie di requisiti che devono essere soddisfatti. Pertanto, non è di primaria importanza una ricerca approfondita sull'albero dei costi di acquisizione. La conoscenza dei costi necessari per mantenere il prodotto in condizioni operative è più importante. È pertanto fondamentale

essere consapevoli delle differenze nel sostenere i costi tra le alternative possibili. Questo è spiegato dall'albero dei costi di sostegno di Barringer [8], come indicato nella figura.

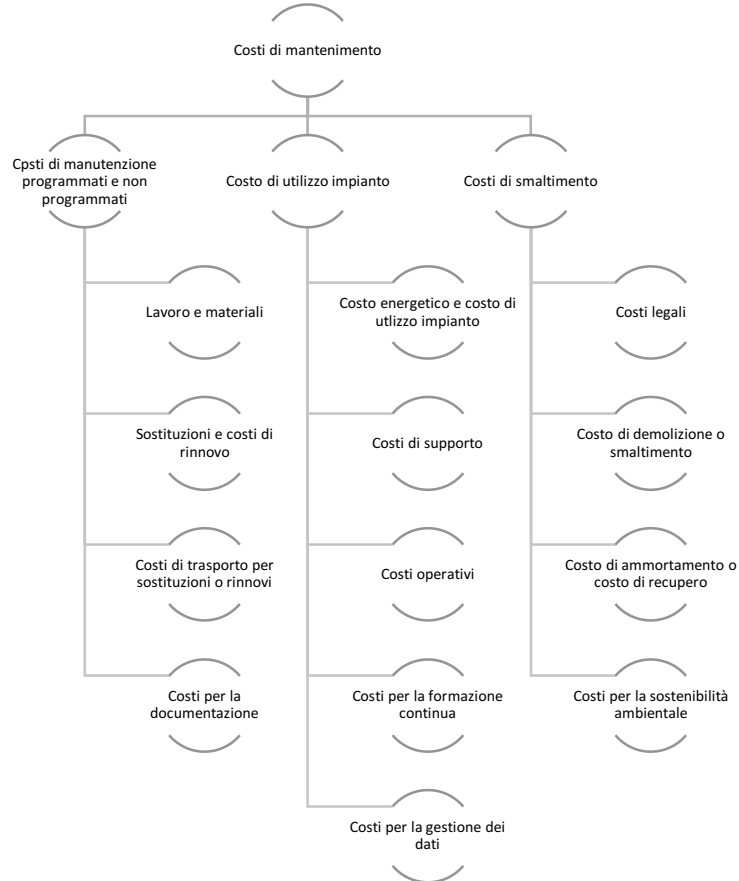


Fig 2 Albero dei costi di Barringer

1.3.3 STRUTTURA DEL COSTO DEL CICLO VITA

Il termine costo per il ciclo di vita è usato per trasmettere una scala molto ampia di significati. Molti scrittori hanno dato le proprie interpretazioni a ciò che implica il Life Cycle Costing. In alcuni casi queste interpretazioni causano confusione con altri termini. Per creare un certo grado di trasparenza e per determinare la definizione più adatta a questa dissertazione, è chiaro che alcuni chiarimenti sono in ordine.

Secondo Emblemståg [9], il costo del ciclo di vita può essere definito come: "i costi totali che sono sostenuti, o possono essere sostenuti, in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto".

Secondo Dhillon [10], il costo del ciclo di vita di un sistema può essere definito semplicemente come la somma di tutti i costi sostenuti durante la sua durata.

Dell'Isola [11] descrive il costo del ciclo di vita come una valutazione economica di un elemento, sistema o impianto durante la sua durata, espresso in termini di costo equivalente usando basi identiche a quelle utilizzate per il costo iniziale. Questo metodo è utilizzato per confrontare varie opzioni identificando e valutando gli impatti economici durante la vita di ciascuna opzione.

Secondo Barringer [8], il costo del ciclo di vita è il costo totale di proprietà delle macchine e delle attrezzature, compresi i costi di acquisizione, di funzionamento, di manutenzione e / o di smantellamento. Quando si utilizza il costo del ciclo di vita per confrontare diverse alternative, si dovrebbe essere consapevoli che non tutte le categorie di costi sono rilevanti per tutti i progetti. Il preparatore è responsabile dell'inclusione delle categorie di costi pertinenti che produrrà un ciclo di vita realistico che considera il confronto tra le alternative del progetto. Se i costi in una determinata categoria di costi sono uguali in tutte le alternative del progetto, esse possono essere documentate in quanto tali e rimosse dalla considerazione nel confronto dei costi del ciclo di vita. [7] Dell'Isola e Kirk [11] menzionano anche che i costi che sono considerati uguali per tutte le alternative possono essere eliminati dall'analisi del costo del ciclo di vita.

Pertanto, il costo del ciclo di vita può essere utilizzato come metodo per confrontare e analizzare alternative diverse. Quando si confrontano alternative differenti, è possibile rimuovere gli stessi costi da considerazione. Se i costi vengono eliminati dalla considerazione, bisogna essere consapevoli che le definizioni del costo del ciclo di vita sopra menzionate non sono più appropriate: quando i costi vengono eliminati dalla considerazione, è più opportuno utilizzare il termine analisi dei costi del ciclo di vita (analisi LCC).

L'analisi del costo del ciclo di vita può essere descritta come un metodo economico-economico incentrato sul costo, il cui obiettivo è definire sistematicamente i costi attribuibili ad ognuno di uno o più corsi d'azione alternativi per un determinato periodo di tempo. Verranno esaminati gli elementi chiave di tale analisi, così come l'efficacia dei risultati in una situazione particolare.

Prima di iniziare il processo di calcolo dei costi, è importante definire chiaramente cosa esattamente essere studiato.

- L'analisi del costo del ciclo di vita può essere utilizzata come metodo per confrontare le alternative.
- Il costo del ciclo di vita può essere utilizzato per acquisire una visione del costo totale di proprietà di un'attività.

È importante tenere presente questo aspetto quando si utilizza un modello di analisi dei costi del ciclo di vita.

Inoltre, va notato che quando alcuni costi uguali vengono rimossi dal confronto, non è facile reimplementare questi costi specifici in una fase successiva. Durante il tempo che è scaduto, i costi possono essere cambiati, con conseguente aumento dell'esattezza dell'esito. È anche necessario tenere presente che l'inizio e il passaggio di questo processo richiedono molto tempo. Ciò può essere importante quando, ad esempio, una terza o la quarta alternativa diventa possibile. Questo problema si verifica anche quando, in una fase successiva, la direzione decide di indagare sulla possibilità di investire in una nuova installazione completa. Quando i costi vengono eliminati dalla considerazione, sarà difficile confrontare questa

indagine con l'analisi del costo del ciclo di vita effettuata in precedenza, perché quest'ultima è incompleta.

CAPITOLO 2.

IL CONTESTO DI RIFERIMENTO E I PROBLEMI DI GESTIONE DEL CICLO

2.1 ELEMENTI DI PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT (PLM)

2.1.1 INTRODUZIONE

All'interno dell'economia mondiale, i mercati stanno crescendo in modo globalmente e i clienti stanno diventando sempre più pretenziosi in termini di qualità e tempi di consegna, mentre il prodotto stesso sta diventando sempre più complesso. Tutti i processi legati al prodotto stanno crescendo, costituendo un ciclo complicato che inizia dalla comprensione dei mercati, attraverso il processo di prodotto e processo, alle operazioni e alla gestione della distribuzione, superando i confini dell'impresa. Tutte le attività svolte lungo la "vita del prodotto" devono essere coordinate e gestite in modo efficiente al fine di ottenere.

Per realizzare tale coordinamento, l'ingegneria e la produzione dei prodotti stanno diventando processi sempre più integrati, consentendo la comunicazione tra tutti i metodi / strumenti / ambienti dispersi lungo di sé.

Questo nuovo tipo di paradigma integrativo è già in fase di implementazione e sembra essere identificato un nuovo acronimo in Product Lifecycle Management. Il marchio "PLM market" sta diventando un'esperienza mondiale e uno dei pochi mercati IT in crescita, mentre molti produttori di ICT sono in movimento in questo mondo, proponendo le loro suite PLM. Guardando a questo mercato, è chiaro come una varietà di "fornitori di soluzioni" mira a essere considerati:

Venditori provenienti dal mondo dell'ingegneria digitale (IBM-Dassault), che iniziano da processi NPD (New Product Development) e MES (Manufacturing Engineering System) e stanno cercando di collegare processi di Enterprise Engineering e Management.

Venditori provenienti dal mondo ERP (SAP), che, al contrario, partono da processi di gestione aziendale per la conversione per collegare strumenti e piattaforme NPD / MES.

Venditori provenienti dal mondo del Information and Communication Technology (ICT), che mirano a creare tali ambienti collaborativi per l'integrazione di PLM, fondamentalmente utilizzando tecnologie web.

In un simile contesto, PLM è intrinsecamente una domanda e un paradigma legati alla TIC, anche se, in una prospettiva più ampia la sua funzione si occupa di un insieme più completo di elementi diversi. Il presente capitolo mira a illustrare questi elementi principali che compongono il concetto moderno di PLM nel mercato.

In questo modo il capitolo propone una tesi di rilevanza sulle dimensioni predominanti della PLM, partendo da una definizione del ciclo di vita del prodotto, proseguendo con l'analisi

degli elementi e delle funzionalità TIC che compongono "suite" PLM e concludendo con una definizione di i processi implicati nell'ambito dell'acronimo PLM.

2.1.2 FASI DEL CICLO VITA PRODOTTO

PLM è uno dei più recenti acronimi utilizzati nel mercato delle ITC da parte di fornitori; molti sviluppatori di software stanno vendendo le loro suite PLM, anche se provengono da diversi ambiti e forniscono soluzioni diverse.

Guardando lo stato dell'arte, l'acronimo PLM è stato utilizzato per la prima volta negli anni '70 -'80, per indicare studi di progettazione e produzione di compatibilità ambientale: un prodotto potrebbe essere sviluppato e prodotto in base al suo impatto ambientale ogni fase del suo ciclo di vita, fino alla dismissione e al riciclaggio.

Alla fine degli anni '90, l'acronimo PLM è stato esteso dalla visione ambientale ad una media più completa, per indicare la gestione di tutte le attività relative al "sistema prodotto" e alla sua tracciabilità lungo varie fasi della sua vita ciclo.

In generale, il termine "ciclo di vita" indica l'insieme di fasi che potrebbero essere riconosciute come "stadi" indipendenti che un prodotto potrebbe seguire, dalla

- concettualizzazione,
- design,
- pianificazione manifatturiera,
- produzione,
- distribuzione,
- uso,
- riciclo.

Si può dire che nella letteratura, l'identificazione di queste fasi di prodotto rivela almeno due domini principali di analisi:

- il dominio delle fasi di vita del prodotto sul mercato
- il dominio delle fasi del ciclo di vita del prodotto che assumono nella vita fisica di un prodotto.

Il primo è il ben noto modello di vita del prodotto che descrive come un prodotto "vive" nel mercato in termini di volumi e ricavi venduti.

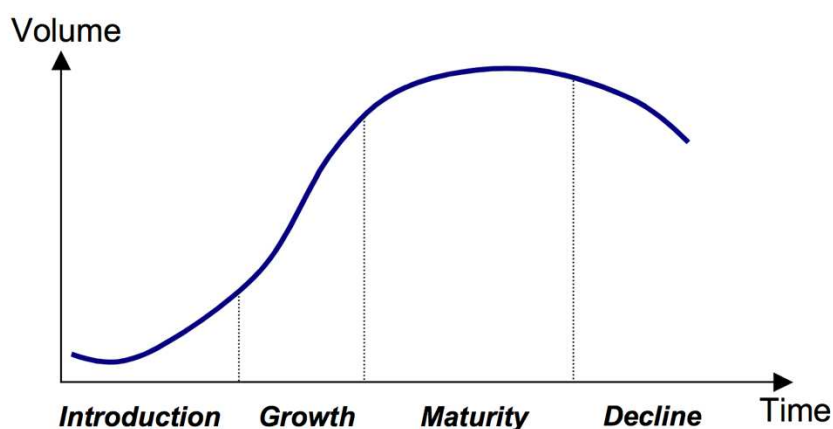


Fig 3 Modello di evoluzione ciclo vita prodotto

Lo stesso modello è spesso usato per descrivere come distribuire i flussi di cassa (costi e profitti) generati da un nuovo prodotto venduto sul mercato. La relazione tra le diverse dimensioni aziendali (profitto, costi, marketing ...) e le fasi di vita del prodotto. Una sintesi di queste relazioni è illustrata in tabella.

Dimension	Nascita	Crescita	Maturità	Declino
Vendita	Basso	Moderata	Picco	Declino
Costi	Cari per il cliente	In media	Bassi per i clienti	Bassi per i clienti
Profitti	Negativi	In crescita	Alti	Declino
Numero di competitors	Basso	In aumento	Stabile	Declino
Clienti	Innovatori	Primi utilizzatori	Massimo	Declino
Obbiettivi di Marketing	Creare conoscenza sul prodotto	Massimizzazione della quota di mercato	Massimizzare i profitti mantenendo la stessa quota di mercato	Ridurre le spese

Tab 1 Modello di ciclo vita in relazione ai flussi di cassa

Una seconda applicazione dei termini "fase del ciclo di vita del prodotto" che esistono, spesso utilizzate nel mercato quotidiano si occupa di una diversa prospettiva. In genere, questa seconda definizione viene spesso confusa con la definizione di processi distribuiti lungo la fase ideale del ciclo di vita del prodotto (ad es. Sotto-processi del concetto di prodotto, progettazione dei prodotti nel processo principale di sviluppo del prodotto), che si occupano della trasformazione e della manipolazione dell'idea del prodotto e anche delle componenti

fisiche di un prodotto. In questo tipo di modelli, il flusso di prodotti dalla generazione della sua idea e concetto principale, alla produzione e alla realizzazione, fino ai clienti finali. Ad esempio, la ISO 10303 [31] definisce il modello di riferimento per le fasi di vita del prodotto riportato in figura, mentre le diverse imprese propongono il loro modello di riferimento.

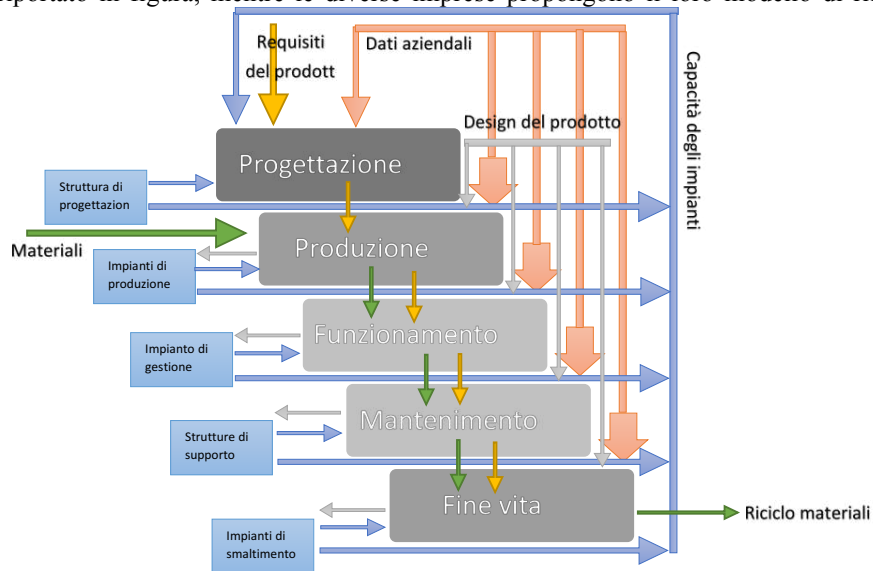


Fig 4 Fasi ciclo vita prodotto

L'iniziativa GERAM (Architecture and Methodology Reference Generalized Enterprise) [33] e la nuova norma EN / ISO 19439 in fase di sviluppo classificano una sequenza di attività in un ciclo di vita complesso (business unit) del sistema (figura). Le diverse fasi del ciclo di vita definiscono i tipi di attività che sono pertinenti durante la vita dell'entità, le attività del ciclo di vita comprendono tutte le attività dall'inizio alla disattivazione (o alla fine della vita) dell'impresa o dell'entità. Il ciclo di vita del prodotto potrebbe essere descritto anche con questo modello.

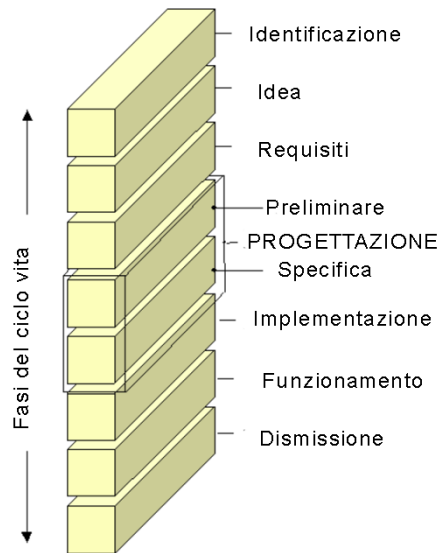


Fig 5 Modello GERAM

GERAM definisce le seguenti fasi principali:

- Ricerca: Ricerca, valutazione e selezione delle tecnologie da utilizzare in sviluppo del prodotto.
- Concetto: Il set di attività che sono necessarie per sviluppare concetti dell'entità sottostante. Questi concetti includono la definizione della missione, della visione, dei valori, delle strategie, degli obiettivi, dei concetti operativi, delle politiche, dei piani aziendali e così via.
- Requisiti: Le attività necessarie per sviluppare le descrizioni dei requisiti operativi dell'entità aziendale, i relativi processi rilevanti e la raccolta di tutte le necessità funzionali, comportamentali, informative e di capacità. Questa descrizione include sia i requisiti di servizio e di produzione, sia i requisiti di gestione e di controllo dell'entità - indipendentemente dal fatto che questi siano soddisfatti da esseri umani (individui o enti organizzativi) o macchinari (compresi quelli di produzione, informazione, controllo, comunicazione o qualsiasi altra tecnologia).
- Design: Le attività che supportano la specifica dell'entità con tutti i suoi componenti che soddisfano i requisiti dell'entità. L'ambito delle attività di progettazione include la progettazione di tutti i compiti umani (compiti di individui e di enti organizzativi) e tutte le attività di macchina relative ai servizi e ai prodotti del cliente dell'entità e alle relative funzioni di

gestione e controllo. La progettazione dei processi operativi comprende l'identificazione delle informazioni e delle risorse necessarie (compresa la produzione, l'informazione, la comunicazione, il controllo o qualsiasi altra tecnologia).

2.1.3 MODELLO DI RIFERIMENTO DEL CICLO VITA PRODOTTO

Esistono molte definizioni del ciclo di vita del prodotto. Per avere un'unica comprensione di tale termine, nei capitoli successivi la tesi si riferirà a ciclo di vita del prodotto in termini di sequenza di stadi nella vita del prodotto, non al mercato. In particolare, cercando di fondere diversi tipi descritti dal modello di ciclo vita del prodotto, il seguente è il modello generale di vita del prodotto che sarà considerato nella tesi.



Fig 6 Modello generale di ciclo vita prodotto

Questo semplice modello mira a normalizzare un ciclo di vita del prodotto composto da quattro diverse fasi:

- Sviluppo del prodotto: tratta la fase di sviluppo del prodotto, a partire dalla progettazione fino al design del prodotto finito, pronto ad entrare in produzione, attraverso processi ed impianti. Ognuna di queste quattro sotto-fasi di sviluppo del prodotto di solito parte dall'analisi dei requisiti (prestazioni richieste, costi, strategie di marketing e così via) e procede con una prima bozza per finire con il disegno dettagliato.

- Produzione di prodotti: comprende sia la produzione che la distribuzione attività. La fase di produzione può essere molto complessa e spesso include pre-produzione e prototipazione, produzione, montaggio, finitura, la prova, l'imballaggio, ecc. La distribuzione, dall'altro lato, è correlata conservazione e consegna del prodotto.
- Uso del prodotto: questa è la fase di vita del prodotto e rappresenta tutto attività che si svolgono durante l'utilizzo del prodotto: comprendono il prodotto uso e consumo, manutenzione e supporto.
- Fine vita prodotto (dismissione o riciclo): in quest'ultima fase il prodotto viene distrutto o meglio smontati e riciclati. Questo modello di riferimento verrà utilizzato nei paragrafi successivi per classificare elementi e aspetti diversi di PLM. Sarà anche adottato nella metamodello di riferimento per la tracciabilità del prodotto nella seconda parte del tesi. Il modello GERAM verrà utilizzato anche per il suo esaustivo dichiarazione di tappe; la tabella 2.2 definisce la relazione tra la proposta modello di riferimento e quello di GERAM.

Modello di riferimento	Fasi di prodotto GERAM
Sviluppo prodotto	Design del prodotto Progettazione del processo Progettazione impianti Progettazione ciclo di vita vc/-
Produzione	Implementazione
Uso	Operazioni
Dismissione	Dismissione o smaltimento

Tab 2 Legame tra modello di riferimento e fasi del ciclo vita prodotto secondo GERAM

2.2 ELEMENTI E FUNZIONALITÀ DEL PLM

Come già accennato, il PLM è al primo approccio un problema ICT, dove molti produttori stanno cercando di sopravvivere. La situazione attuale (e lo stesso concetto di PLM) deriva da un'evoluzione di ICT. Dagli anni '70, le imprese sono state supportate da diversi sistemi ICT, sostenendo attività e processi sempre più complessi. La crescita dell'adozione di ICT nelle imprese ha subito diverse accelerazioni: dall'installazione di mini computers negli anni '80, alla rivoluzione di stazioni di lavoro e personal computer negli anni '90, fino alla corrente rivoluzione dell'era Internet. Tutte queste rivoluzioni sono state sostenute tramite diverse re-ingegnerizzazioni dei processi aziendali; un esempio chiaro è la creazione di collaborazioni: idee organizzative come il co-marketing, co-design, co-ingegneria, co-produzione, co-vendita, che sono state definite sin dagli anni '80, sarebbero stati solo esercizi teorici senza l'evoluzione fornita da ICT basati su Internet.

2.2.1 EVOLUZIONE DEL INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY NEI PROCESSI DI PROGETTAZIONE

Guardando al processo principale di NPD, le attività di progettazione sono supportate da diversi strumenti ICT, che sono in continuo sviluppo ed evoluzione. Ad esempio, nell'ambito dello sviluppo dei prodotti, strumenti ICT di supporto all'ingegnerizzazione di prodotto esistono da più di 30 anni e sono alla loro terza generazione: il primo 2D Computer Aided, sistemi di progettazione (CAD), introdotti negli anni '70, sono stati sostituiti negli anni '80 da CAD 3D; gli anni '90, a causa dell'innovazione hardware, hanno introdotto funzionalità sempre più ottimizzate, come il supporto di montaggio, la definizione del percorso di progettazione (ad esempio [14], [15]). Oggi, 3D le tecnologie stanno assumendo un ruolo rilevante: Digital Mock Up per il prodotto lo sviluppo fornisce agli ingegneri le possibilità di un 3D ben definito simulazione per scopi stilistici, progettuali e di manutenzione. Gli approcci 3D sono attualmente in fase di sviluppo e diffusione nella mercato, come l'approccio funzionale (ad esempio [34], [35]) o il più sistemi avanzati di ingegneria basata sulla conoscenza (KBE) [36], che automatizzare procedure sofisticate di progettazione. I sistemi CAD possono comunicare con altri strumenti CAx, ad esempio Computer Aided Styling sistemi (CAS) e sistemi di produzione con supporto informatico (CAM), che automatizza la generazione di programmi di macchine NC (Numerical Control). Questo percorso di integrazione è stato sostenuto dallo sviluppo internazionale standard come STEP [17] e IGES [19]. Qualcosa di simile è avvenuto nella zona di pianificazione della produzione: fin dagli anni '70, diversi strumenti ICT per il Computer Aided Process Pianificazione (CAPP) sono stati presentati per sostenere gli ingegneri nella definizione dei piani di fabbricazione. Gli strumenti CAPP si sono evoluti da semplici approcci a quelli più complicati [20]. Negli ultimi anni, strumenti CAPP sono state sviluppate in ambienti distribuiti e collaborativi, evolvendo da applicazioni stand-alone in CAPP in più sofisticate piattaforme, dove gli ingegneri, provenienti da diversi dipartimenti e imprese, potrebbero cooperare per lo sviluppo di una produzione coordinata (ad esempio [21], [22], [23]). Anche il mondo della progettazione e della pianificazione della fabbrica è stato sottoposto a tali tipo di evoluzione; strumenti ICT singoli e separati adottati dagli ingegneri per la gestione dell'impianto, la pianificazione e la simulazione sono stati sostituiti da piattaforme e strumenti più integrati, collegati anche con altri CAx sistemi (ad esempio [35], [46]). Negli ultimi anni, molti strumenti che consentono la condivisione di informazioni tra gli ingegneri sono comparsi, sotto molti diversi nomi e acronimi: EDM (Engineering Data Management), PDM (Product Data Management), PIM (Gestione delle informazioni sui prodotti) TDM (gestione dei dati tecnici), e BOP (Bill of Processes) [37] per citarne alcuni. Tutti questi sistemi, generalmente definiti come strumenti di gestione (DM) [38], sono fisicamente basati su un database centrale, dove vengono forniti servizi centrali per la gestione dei dati di progettazione (prodotto, piano, progettazione impianti), come il controllo e la progettazione dei diritti di accesso, gestione e rilascio. Questi dati memorizzati sono Bill of Materials (BOM), Bill of Risorse (BOR), Bill of Processes (BOP). Soprattutto a causa dell'evoluzione di questi sistemi DM e anche per l'evoluzione di diversi standard di interoperabilità ([37], [38]), una grande integrazione tra gli strumenti IT dell'area del processo di progettazione è in fase di sviluppo; questa integrazione è attualmente definita come Digital Manufacturing and Engineering ([39], [41]), che indica come l'intero processo di progettazione, composto da prodotto. Lo sviluppo, la pianificazione della produzione e la pianificazione della fabbrica, potrebbero essere realizzata utilizzando una piattaforma integrata in cui gli ingegneri potrebbero cooperare, riducendo sensibilmente il tempo di sviluppo. Tecnologie orientate verso Internet sono i fattori chiave-successo,

favorendo l'integrazione del software e piattaforme hardware, in particolare a causa dei loro protocolli indipendenti (ad esempio, XML, eXtensible Markup Language [40], [42]).

2.2.2 EVOLUZIONE DEL ICT NEI PROCESSI DI GESTIONE OPERATIVA

Qualcosa di simile è avvenuto nell'ambito degli strumenti ICT di supporto alla produzione e distribuzione e attività correlate. Come è ben noto e accettato, le prime attività operative supportate da strumenti IT sono stati la produzione, dove, fin dalla fine degli anni '70, sono state sviluppate molte soluzioni ICT, sistemi come MRP (Material Requirements Planning), si sono evoluti in MRPII e CRP (Requisito di pianificazione delle capacità) e più grandi strumenti ERP (Enterprise Resource Planning), che integrano e supportano molti attività, quali il finanziamento, la contabilità, la gestione delle scorte. I costi alti delle soluzioni tecnologiche disponibili fino agli anni '90 (basato su EDI - Electronic Data Interchange), hanno spesso decelerato questi strumenti ICT integrati, in particolare nelle PMI. Un percorso inverso, hanno avuto strumenti integrati di ICT per la gestione dell'operazione con l'adozione di risorse basate su Internet (ad esempio protocollo TCP / IP o piattaforma indipendente lingue come HTML). Inoltre, con l'evoluzione dei mercati e aumento della tendenza di appaltare ad esterni il lavoro, nuovi strumenti ICT: strumenti di Supply Chain Management (SCM) per migliorare i rapporti con i fornitori, strumenti di Gestione delle Relazioni Cliente (CRM) per la gestione dei clienti e delle loro richieste, strumenti come Advanced Planning Systems (APS) per migliorare la pianificazione di produzione, strumenti IT per l'automazione, controllare ed integrare i processi di produzione con il livello superiore (MES - Manufacturing Execution System). Attualmente, tutti questi tipi di strumenti sono in fase di consolidamento nelle piattaforme ICT distribuite per i processi di gestione operativa di grandi dimensioni aziendale, costituendo suite software costose integrate.

2.2.3 EVOLUZIONE DEL ICT NEI PROCESSI DI SUPPORTO

Le evoluzioni dell'ICT derivano intrinsecamente dall'evoluzione di strumenti più fondamentali. In un primo momento, con la diffusione dell'orientamento del processo in aziende, un sacco di strumenti per l'automazione dei processi aziendali (BPA) [38] (definiti anche come sistemi di gestione del flusso di lavoro - WFM) sono stati sviluppati negli ultimi dieci anni. Questi strumenti automatizzano l'attività i processi migliorano la velocità e l'agilità nelle operazioni ripetitive; un sistema WFM è fisicamente uno strumento per la gestione delle informazioni e documenti (DM) basati su un repository comune, dove i diritti di accesso sono definiti per utenti diversi e dove attività ripetitive "segreteria" sono automatizzati utilizzando comunicazioni elettroniche standardizzate (ad es. dipartimento contabile in Ford [38]). Questi sistemi sono il fulcro elementi di tutti gli strumenti DM, come PDM, EDM e TDM processi di progettazione, ma anche dei sistemi distribuiti SCM e CRM. A in secondo luogo, un'altra evoluzione importante potrebbe essere tracciata nell'ambito del progetto Tecniche di gestione (PM). Attualmente i tool di PM assumono un ruolo rilevante nelle ITC sviluppate e sono integrate come tecniche di base per la gestione dei processi e gli strumenti di Manufacturing / Engineering digitali (ad esempio [35], [46]) e Gestione dell'operazione [43]. Internet ha offerto un importante contributo alla lo sviluppo di tali strumenti di base, fornendo

servizi economici come la posta elettronica e le lingue indipendenti dalla piattaforma, ma anche la video conferenza. Sistemi WFM, inizialmente sviluppati con costose reti EDI, sono oggi facilmente accessibili a un prezzo più conveniente costo su Internet (ad esempio [44], [45]), integrando anche piattaforme mobili, ad esempio PDA (Personal Digital Assistant, ad esempio Palm, Pocket-Pc), GPRS e mobile [47].

STRUMENTI ICT NEL CICLO VITA PRODOTTO

Nella tabella seguente è mostrato come gli strumenti ICT sono utilizzati nel ciclo vita prodotto, riassumendo lo stato dell'arte.

Fase prodotto	Strumenti ICT
Sviluppo Prodotto	CAD
	CAPP
	CAM
	CAE
	DMU
	EDM
	PDM
	WFM
Produzione prodotto e distribuzione	ERP
	MRP
	SCM
Utilizzo prodotto	CRM

Tab 3 Strumenti ICT per fase sviluppo prodotto

L'evoluzione degli strumenti ICT delle imprese è caratterizzata da un aumento di necessità di integrazione e interoperabilità tra gli strumenti e i processi, sia in attività di progettazione, gestione, automatizzazione flussi di informazioni. Al momento, la tendenza di integrazione superano i limiti del design [18], nuovi problemi più integrati stanno emergendo. In particolare, ci sono alcuni flussi di informazioni che stanno sempre più assumendo un ruolo critico nel contesto moderno. I dati provenienti dal processo di progettazione potrebbero essere sempre connessi e segnalati agli strumenti di gestione operativa, come ERP e CRP, e viceversa. Molti fornitori provenienti dalla zona di produzione digitale (ad esempio, [37], [46]) e dalla zona di gestione delle operazioni (ad esempio fornitori ERP, ad esempio [43], [49], [50]) stanno fornendo e vendendo soluzioni "integrate" per soddisfare esigenze più complicate. Questa integrazione è supportata da la creazione di sistemi WFM e DM, spesso prodotti da altri venditori (ad esempio [48]), o sviluppati all'interno (ad esempio [37], [46]). Questi sistemi adottano tecniche PM, quali assegnazioni attività e responsabilità, e stabiliscono fisicamente la comunicazione e l'integrazione tra strumenti e processi diversi.

2.2.4 FONDAMENTI DI PLM IN ICT

Per supportare tutte le funzionalità presentate, i sistemi PLM necessitano di un set di funzioni di base. Le componenti principali includono un insieme di fondazioni tecnologie che

supportano una serie di funzioni fondamentali che a loro volta supportano applicazioni e soluzioni aziendali mirate. La seguente definizione deriva dal ben accettato modello di riferimento delle suite PLM, definito da CIMData [52].

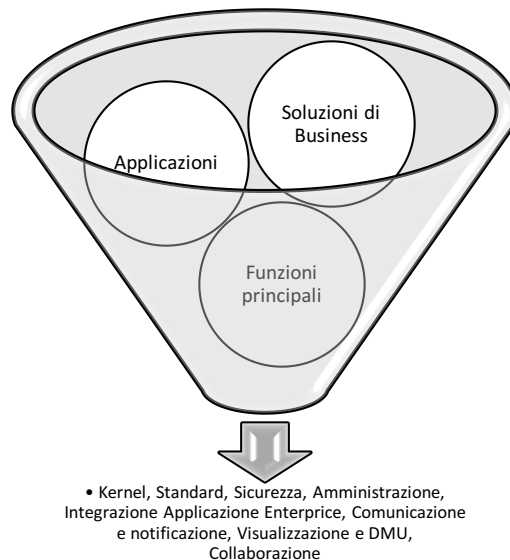


Fig 7 Modello di riferimento suite plm, CIMData

Secondo [52]. le principali "tecnologie" delle suite PLM potrebbero essere identificate cose segue:

- Comunicazione e notifica: Gli utenti dei sistemi PLM viene automaticamente notificato eventi critici relativi allo stato attuale del progetto o del prodotto. La posta elettronica viene utilizzata per informare le persone eventi importanti o azioni richieste. PLM minimizza i ritardi causati da una comunicazione errata, con funzioni utilizzate, notifiche e altre azioni automatizzate. Supportare i team di progetti e fornitori geograficamente distribuiti, il PLM è in grado di semplificare le comunicazioni tra tutti i partecipanti, indipendentemente dalla posizione geografica o dal fuso orario. Le applicazioni web e web-based forniscono i dati infrastrutture di comunicazione e interfaccia utente per un facile e sicuro raccolta e condivisione dei dati. La funzionalità di sottoscrizione consente agli utenti di abbonarsi a una cartella o una gerarchia di cartelle sul sito. Iscritti ricevere notifiche automatiche di posta elettronica di modifiche, aggiunte o eliminazioni.
- Trasporto dei dati. Gli utenti non devono sapere dove vengono memorizzati i dati mentre il sistema mantiene le tracce della posizione dei dati e consente agli utenti di accedervi conoscendo solo il nome dei dati. Il DBMS deve essere relazionale e abbastanza orientato agli oggetti per catturare e gestire la vasta varietà di tipi di dati, le proprietà, i comportamenti e le relazioni dei dati esistenti in un'impresa. Questi

includono non solo l'evidente documentazione iniziale - BOM e specifiche di materiale, disegni CAD, controllo numerico (NC) programmi, istruzioni di lavoro / piani di processo, ma anche i dati provenienti da processi a valle, quali avvisi di cambiamento, qualità rapporti, file di audit, documenti di ufficio, tutto ciò che può essere inserito formato elettronico. Tale DBMS deve essere caratterizzato anche da sofisticati controlli di gestione, sicurezza del database, dati sincronizzazione e strumenti specifici per l'amministratore del database.

- Traduzione dei dati. I traduttori di dati possono essere predefiniti per convertire i dati tra diverse applicazioni e formati per diversi display e dispositivi di uscita. Gli avvisi possono eseguire automaticamente queste traduzioni di dati. Il problema dell'integrazione CAD sembra essere una questione meno tradizionale architettura di integrazione, da XML e da un'ampia gamma di settori gli standard di messaggistica sono supportati dalla maggior parte dei venditori. Industria standard per la geometria e il dettaglio delle feature, tra cui VRML, IGES, STEP, sono da tempo in evoluzione e continuamente migliorano l'accesso degli utenti a informazioni di progettazione, ma il kernel comune a lungo elusivo rimane oltre l'arcobaleno. Si tratta di un problema commerciale, con i fornitori CAD fondamentalmente tenendo i clienti installati di base con kernel proprietari. Integrazione nei sistemi ERP per i principali punti di scambio di dati, come BOM, master del materiale e liste di parti, è supportato con una varietà di adattatori standard e un elenco di integrazioni pre-costruite che è costantemente in crescita
- Visualizzazione. Gli strumenti di visualizzazione consentono agli utenti in qualsiasi parte del prodotto lo sviluppo, la produzione e la catena di fornitura, la condivisione delle informazioni non contestuali, la visualizzazione e modifica del prodotto e la progettazione senza avere gli strumenti di creazione che hanno creato i disegni. Con i progressi delle tecnologie 3D-CAD, DMU si sostituisce la necessità di costruire prototipi fisici (o almeno permettere ai progettisti di innanzitutto costruire molte generazioni di modelli digitali prima di costruire la versione finale, prototipo). La capacità di farlo consente ai progettisti provare problemi di interferenza tra componenti e moduli in anticipo e correggerli a basso costo. I programmi di visualizzazione includono la compatibilità con una vasta gamma di file di progettazione. Oltre a ciò dovrebbero avere molteplici opzioni di lettura, da strumenti di stampa e manipolazione avanzati, inclusi la sezione, la massa proprietà, misurazioni e altro ancora.
- Collaborazione. La collaborazione richiede una forma più alta di informazioni elaborazioni e scambi. Gli strumenti informatici, a questo proposito, consentono il brokeraggio di contributi collaborativi in tutta la rete di progettare facilitando la comunicazione globale, invece di scambi di informazioni semplici. L'evoluzione degli scambi B2B da inizialmente intermediando semplici operazioni di acquisto / vendita per offrire valore aggiunto i servizi creando "piattaforme" per la collaborazione è un caso in oggetto. Questa evoluzione rappresenta lo spostamento dalla gestione della catena di approvvigionamento (vale a dire. condivisione di informazioni), per progettare la gestione della catena (cioè la collaborazione).
- Enterprise Application Integration (EAI). EAI consente informazioni e processi da condividere con altre applicazioni aziendali e comprende tecnologie che consentono

la comunicazione dei processi e dei dati aziendali l'un l'altro attraverso applicazioni e reti all'interno dell'impresa estesa. Per garantire l'interoperabilità dei dati tra il sistema PLM, le tecnologie EAI all'interno del sistema PLM deve sostenere la vasta gamma di "standard aperti" definiti per hardware, software e interoperabilità dei dati. L'integrazione di PLM dovrebbe includere la semantica per sincronizzare strutturati, informazioni semi-strutturate e non strutturate in tutte le applicazioni; la mappatura tra i processi di alto livello e le singole applicazioni; e la possibilità di presentare queste informazioni tramite un'interfaccia utente oppure portale.

- Amministrazione di sistema. L'amministratore imposta i parametri del sistema PLM e controlla le sue prestazioni. Le funzioni amministrative includono le autorizzazioni di accesso e di modifica, procedure di approvazione, backup e sicurezza dei dati e archivio dati.

Funzioni fondamentali:

Le funzionalità sono realizzate negli strumenti PLM che implementano le funzioni fondamentali. Per completare il concetto espressa in [52], è possibile raggruppare le funzioni fondamentali di PLM come segue:

- Strumenti di authoring.
- Data Vault. Queste funzioni forniscono l'archiviazione sicura e il recupero delle informazioni di definizione del prodotto. Su un sistema integrato i creatori, gli approvatori e i consumatori del business, i documenti lavorano insieme durante l'intero ciclo di vita del documento, dalla creazione fino alla distribuzione della versione finale. Per lavorare in modo efficiente in tutti i tipi di processi aziendali, quali la gestione del progetto, la R & S, produzione e servizio, una gestione completa dei documenti di sistema è una necessità. Oltre a questo, il controllo delle versioni e l'integrazione della gestione dei documenti con ECM sono essenziali per sostenere processi di cambiamento sicuro sotto controllo formale. Infine, a base di statistiche i flussi di lavoro possono accelerare i processi in modo significativo. Se le persone usano documenti frequentemente, vogliono essere notificati non appena vengono apportate modifiche ai documenti o una nuova versione del documento è disponibile. Ciò richiede una completa capacità di distribuzione dei documenti. All'attivazione di un evento le notifiche vengono inviate elettronicamente a tutti gli interni ed esterni nell'elenco di distribuzione.
- Engineering Change Management. I cambiamenti sono parte della quotidianità di imprese manifatturiere moderne. I cambiamenti sono il risultato di variazioni dei mercati, requisiti dei clienti, problemi tecnici o l'uso di nuovi materiali. Per qualunque ragione le modifiche avvengano, loro di solito implicano varie attività prima e dopo che richiedono gestione sistematica delle modifiche. Engineering Change Management si riferisce al processo di gestione della creazione di un elemento. È controllato da una funzione che garantisce il processo di evoluzione del prodotto senza intoppi e con autorizzazione adeguata. Il risultato è un'efficiente gestione di cambiamenti di ingegneria per l'impresa estesa, che fornisce un

significativo potenziale di valore soprattutto nelle aree di tempi ridotti del ciclo e maggiore soddisfazione del cliente. La sfida è integrare il cambiamento in tutta l'impresa e la catena di valore in modo che le revisioni di componente o ingrediente chiave i materiali coincidono con la tempistica del cambiamento, se la modifica è innescata da una data specificata o in base al consumo di esistenti inventario dei materiali. Ciò richiede che la pianificazione, la produzione, l'acquisto e altri eseguono la modifica in sincrono. Oltre al coordinamento interno, esiste un crescente obbligo di mantenere la catena di approvvigionamento informata in tempo reale. Un requisito chiave per ECM è il processo di approvazione e di notifica. Il processo di approvazione è coperto sotto la sezione Routing / Approval all'interno del progetto / processo di gestione. ECM è uno dei processi chiave del PLM per diversi motivi: (i) la storia degli oggetti, come i documenti o BOMs devono essere memorizzati, (ii) le modifiche dovrebbero essere efficaci (iii) il processo di cambiamento deve essere documentato, (iv) la coerenza dei prodotti può essere garantita solo se si utilizza un processo di cambiamento controllato, (v) tutte le persone colpite (inclusi i dati consumatori) devono essere coinvolti nel processo di cambiamento

- Gestione delle parti / parti (classificazione). La gestione delle parti è un elemento primario di PDM. Le parti rappresentano elementi discreti, materiali come liquidi e gas, imballaggi e oggetti imballati. Parti o materiali rappresentano i materiali fisici stessi, e sono associati a prodotti che sono la rappresentazione del materiale da acquistare o vendere. Le parti comprendono parti standardizzate, parti acquistate, parti proprietarie e versioni di parti esistenti. La classificazione consente di definire parti simili o standard, processi e altre informazioni di progettazione da raggruppare per attributi comuni e recuperati per l'utilizzo nei prodotti. Informazioni di varianti simili dovrebbe permettere di raggrupparli in classi nominate. Più di una classificazione dettagliata è possibile utilizzando "attributi" che descrivono le caratteristiche essenziali di ciascun componente di una data classe. I componenti verranno inseriti nel database sotto una varietà classi che soddisfano le esigenze aziendali. Le stesse classi possono essere raggruppati in comandi a larga scala. Ciò consente di organizzare in una struttura di rete gerarchica tutto lo stock di lavoro dell'azienda facilmente tracciabile. Questo porta a maggiore standardizzazione dei prodotti, riprogettazione ridotta, risparmi in acquisto e fabbricazione. Documenti relativi ai componenti e agli assiemi possono essere classificati allo stesso modo; per esempio. classi potrebbero essere "disegni", "modelli 3D", "pubblicazioni tecniche", "diffusione" File fogli ". Ogni documento può avere il suo insieme di attributi, parte, numero, autore, data inserita. Al tempo stesso, le relazioni tra i documenti e i componenti stessi possono essere mantenute. Così, ad esempio. un dossier per un "gruppo di cuscinetti" specifico potrebbe essere estratto, contenente disegni 2D, modelli solidi e file FEA. I sistemi PDM variano notevolmente nella loro capacità di classificazione. Sostengono la possibilità di definire una classificazione solo al momento della implementazione del database. Più recenti sistemi PDM hanno fornito una capacità che può essere definita e modificata a volontà seguendo le richieste dell'organizzazione.

- Gestione della struttura del prodotto. Il fondamento di qualsiasi produzione. Le strutture produttive sono definite, di solito su una base multi-livello, insieme alle istruzioni per come costruire l'elemento fabbricato. Bill of Material definisce i prodotti che l'azienda produce. La Bill of Material Structure prevede un vista a più livelli della tua struttura del prodotto, solo il componente, l'inventario e le informazioni relative alla quantità per ogni componente e sotto assieme. Prima che un elemento possa essere assemblato o fabbricato, qualsiasi sistema produttivo buono ha bisogno di sapere dove gli elementi vengono utilizzati nel processo di fabbricazione e quali sono le quantità necessarie. Articoli fabbricati sono spesso costruiti in modo multi-livello. Le fatture a livello singolo possono essere nidificate in qualsiasi ordine per definire un disegno di legge multi-livello, facilitando così la documentazione e processo di cumulo dei costi. La funzione di gestione della struttura del prodotto offre viste personalizzate di informazioni sui prodotti per diversi utenti, abilitati a definire, confrontare e gestire diverse viste di prodotto. In generale, essa supporta anche il trasferimento di la struttura del prodotto e altri dati tra PDM e ERP.

- Gestione del flusso di lavoro. Il flusso di lavoro è quella tecnologia che fa interagire la gente con le informazioni. Il workflow percorre automaticamente i percorsi di lavoro una tappa all'altra, inizia, tiene traccia dello stato del progetto, velocizza cambiamenti di ingegneria, sposta le decisioni finanziarie lungo e fornisce dati pertinenti a coloro che ne hanno bisogno. Il motore di flusso di lavoro è di solito in grado di guidare gli utenti attraverso il processo di creazione e modifica flussi di lavoro, tra cui definire i partecipanti al flusso di lavoro, gli oggetti business a essere distribuiti, eventi di trigger, ruoli e alberi decisionali. Flusso di lavoro i sistemi di gestione normalmente hanno tre funzioni globali: (i) gestiscono ciò che accade ai dati quando qualcuno lavora su di esso. ("Lavoro Management "), (ii) gestiscono il flusso di dati tra le persone. ("Gestione flussi di lavoro"), tengono traccia di tutti gli eventi e movimenti che si verificano nelle funzioni 1 e 2 durante la storia di un progetto. ("Gestione della storia del lavoro"). I sistemi PLM variano notevolmente come svolgono queste funzioni. Di seguito è una panoramica generale.
 - Gestione del lavoro. Gli ingegneri creano e modificano i dati. L'atto di progettare qualcosa è esattamente quello. Un modello solido, ad esempio, può passare attraverso centinaia di design cambiamenti durante il corso dello sviluppo, ognuno dei quali coinvolgono modifiche ai dati di ingegneria sottostanti. Spesso l'ingegnere vorrà semplicemente esplorare un approccio particolare, poi abbandona a favore di una versione precedente. Un sistema PLM offre una soluzione agendo come l'ingegnere lavora, catturando meticolosamente tutti i dati nuovi e modificati come viene generato, mantenendo un record di quale versione è, richiamandola su richiesta e mantenendo effettivamente la traccia ogni mossa dell'ingegnere. Naturalmente, quando viene richiesto un ingegnere effettuare una modifica di progetto, che normalmente lo richiederà più che semplicemente il design originale e il Change Engineering Order (ECO). Potrebbe essere necessari molti documenti, file e moduli e altri membri del team di progettazione. I sistemi PLM offrono la possibilità di collegare

diversi pezzi di informazioni in un processo, consentendo di accedere a questi pezzi e utilizzati in contesto, senza cambiare la loro origine, così per costruire documenti virtuali, piegando molti pezzi discreti contenuto in composizione singola di informazioni.

- Gestione dei flussi di lavoro. Durante lo sviluppo di un prodotto, potrebbe essere necessario progettare molte migliaia di parti. Per ciascuno parte, i file devono essere creati, modificati, visualizzati, controllati e approvati da molte persone diverse, forse più volte. Il lavoro su uno di questi file master avrà un impatto potenziale su altri file correlati. Pertanto, ci deve essere continuo la verifica incrociata, la modifica, la trasmissione e il riesame. La maggior parte dei sistemi PLM permettono al responsabile del progetto di controllare il progresso del progetto attraverso "stati" utilizzando pre-determinati "Trigger" e un elenco di percorsi che può variare a seconda del tipo di organizzazione o progetto o sviluppo. Più i sistemi sono rigidi più sono basati sulle procedure. Ogni individuo o gruppo di individui è fatto per rappresentare uno stato in una procedura - "Iniziato", "Presentato", "Controllato", "Approvato", "Rilasciato"; un file o record non possono passare da un individuo o da un gruppo all'altro senza cambiare stato. Alcuni sistemi rendono possibile dare al compito un'identità propria, separata dalla gente lavorando su di esso. La comunicazione all'interno del team di sviluppo è migliorato anche. Quando vengono passati pacchetti di dati e file in giro, possono essere accompagnati da istruzioni, note e commenti. Alcuni sistemi hanno funzionalità "redlining"; altri possono anche avere disposizioni per annotare informalmente annotazioni. Un pacchetto rappresenta uno in un progetto di sviluppo di prodotti che può consistere in molti migliaia. Ogni pacchetto segue il proprio percorso ma anche il rapporto tra i pacchetti deve essere gestito.
- Gestione della storia del progetto. I sistemi PLM non dovrebbero solo mantenere record di database completi dello stato attuale del progetto; dovrebbero anche registrare gli stati del processo. Ciò significa che sono una fonte potenzialmente preziosa dei dati di prova di audit. La capacità di eseguire regolari controlli di processo è un requisito fondamentale per la conformità a quello internazionale standard di gestione della qualità come ISO 9000. Tuttavia, gestione della storia del progetto è importante per consentire il "backtrack", e per comprendere a pieno in quali punti dello sviluppo del progetto si sono verificati problemi. Alcuni sistemi forniscono uno storico consentendo di registrare le modifiche a qualsiasi livello selezionato, ad esempio creando le opportune versione dei file creati. Questo livello di monitoraggio, oltre a fornire controllo completo, consente anche il monitoraggio attivo delle prestazioni individuali difficilmente stimabili durante i progetti.
- Gestione del programma, o spesso definito portfolio, cioè è un insieme di progetti, ausiliari e altri lavori gestiti come un gruppo per raggiungere obiettivi strategici [222]. La gestione del programma potrebbe sembrare periferica a PLM, ma ha tutto a che fare con il ciclo di vita del prodotto e gestione dello stesso: funzioni di gestione del programma e del progetto all'interno PLM stabilisce una struttura di ripartizione

del lavoro (una gerarchia di compiti e sub-tasks) per completare un programma. Questo non è flusso di lavoro; Questa funzionalità comporta un'analisi critica dei percorsi, costo e budget, la gestione, il monitoraggio del progresso, le risorse umane e un host di processi aziendali fondamentali. Fornisce strutture di ripartizione del lavoro (WBS) e consente la pianificazione delle risorse e monitoraggio del progetto. La gestione del programma offre anche la possibilità di relazionare le attività WBS con le conoscenze di approvazione dei sistemi PDM e configurazioni di prodotto. Attività che sono necessarie per completare il progetto sono ordinati all'interno di strutture di rottura del lavoro, che possono anche essere raggruppati in strutture gerarchiche di dipendenze. Questo fornisce a modo conveniente per assegnare risorse e per monitorare i progressi dei progetti. Il completamento delle attività per ogni attività è tracciati e segnalati attraverso il processo di approvazione.

- Pianificazione del processo. La pianificazione dei processi trasforma le informazioni di progettazione in i passi e le istruzioni del processo in modo efficiente ed efficace. Poiché il processo di progettazione è supportato da molti strumenti informatici, la pianificazione dei processi informatizzata (CAPP) si è evoluta per semplificare e migliorare la pianificazione dei processi e ottenere ulteriori risultati uso efficace delle risorse produttive. CAPP aiuta a ottimizzare e convalidare le operazioni di produzione, eliminando le inefficienze di produzione. CAPP entra in modellizzazione e la simulazione della fabbrica, e infine nella selezione di attrezzature di capitali. Incorporato all'interno di CAPP è la tecnologia di gruppo per classificare, cercare e gestire gli attributi di parti, processi, e utensili. Potrebbero essere necessari altri strumenti CAPP per affrontare attività specifiche del settore. Ad esempio, corpo automobilistico la pianificazione dell'assieme richiede funzionalità specifiche, ad esempio la corrispondenza punti di saldatura all'assegnazione di stazione. CAPP ha la capacità di ricerca, per scegliere una funzione.
- Simulazione. Le simulazioni basate su PLM permettono agli utenti di analizzare dinamicamente tutti i dati di parte e di processo contenuti nel sistema PLM. La simulazione consente i progettisti e gli ingegneri vedendo i prodotti in azione. Gli utenti PLM possono accedere ai dati appropriati per provare diversi disegni e alternative di produzione per ottimizzare i disegni dei prodotti (cosa il cliente sta acquistando) e il processo di produzione (come l'impresa sta facendo ciò che il cliente sta acquistando). I sistemi di simulazione possono concentrarsi su pezzi, prodotti finiti, operazioni di produzione specifiche (ad esempio operazioni di stampaggio) o sistema di modellazione completa (inclusa il layout di fabbrica e movimentazione di materiali e parti, attrezzature o operazioni di montaggio).

2.3 PROCESSI DEL CICLO VITA PRODOTTO

Come definito da Porter [25], l'impresa è una serie di attività connesse le une alle altre, che sono orientate verso lo stesso obiettivo: creare valore. Questo valore deriva dalla massimizzazione dei ricavi e dalla minimizzazione dei costi e tutte le inefficienze si nascondono dietro le organizzazioni. Durante gli anni '80, in cerca di questa ricerca di valore, le imprese hanno speso molti sforzi in termini di riduzione dei costi e di ampliamento della produttività, in particolare installando una profonda automazione della fabbrica. Dopo gli

anni '90, un nuovo scenario mondiale è stato migliorato in termini di complessità: i clienti sono diventati sempre più pretenziosi in termini di qualità del prodotto e mentre la competitività del mercato stava aumentando. Le imprese devono creare il proprio valore adottando nuove strategie, alla ricerca di un continuo miglioramento dell'innovazione dei prodotti, processi, sistemi di produzione e strutture organizzative, cercando di ridurre il time-to-market e il time-to-right dei loro prodotti e progetti. Di conseguenza, le imprese stanno respingendo le competenze considerate come non-core (non in grado di migliorare il valore), migliorando la collaborazione con il proprio outsider partner, fornitori e clienti. In questo modo, le imprese devono ri-ingegnerizzare le loro strutture, guardando al ri-orientamento dei loro processi di business. In generale, il processo è un insieme di attività coordinate, che sono distribuite tra funzioni e dipartimenti diversi, orientati alla creazione del valore del sistema aziendale [53]. Fisicamente, il valore dell'impresa deriva dal prodotto / servizio che l'impresa genera e vende, ottenendo ricavi sul mercato. Quindi, il processo principale che gestisce questa creazione è il processo più importante dell'impresa. La definizione di questo processo è strettamente connesso con l'ontologia aziendale:

- Nell'area della produzione (ad esempio automotive, tessile ...), questo processo è effettivamente definito da due sotto processi: lo sviluppo del nuovo prodotto (NPD) e la produzione e distribuzione (Enterprise Operation Management). Il primo riguarda tutto attività che si occupano della progettazione e realizzazione del progetto, la capacità produttiva, mentre il secondo riguarda tutte le attività necessarie per gestire la produzione, il trasporto e la distribuzione, fino alle vendite
- Nelle imprese definite come Engineering & Contracting, il processo principale responsabile della creazione di valore inizia con attività di definizione di ingegneria, approfondita l'acquisizione di sub componenti e contraenti, al fine di costruzione e installazione sul campo (EPC - Ingegneria Procacciatori organizzazioni di costruzione).
- Nelle aziende di servizi (ad esempio [60]) viene creato il valore dell'impresa le attività di progettazione di servizio, fornitura di servizi e manutenzione. Questa attività di ri-ingegnerizzazione del processo di business è in corso, da una parte, con l'identificazione e il potenziamento delle competenze di base dell'impresa e, dall'altro, con la creazione di un atteggiamento collaborativo tra le funzioni e dipartimenti, sia all'interno che all'esterno dell'impresa. Ovviamente, tutte queste modifiche, attualmente in corso nelle moderne imprese, potrebbero essere realizzate solo grazie all'adozione delle nuove ICT, come definito nella precedente paragrafo.

La definizione degli stadi e dei problemi legati alla PLM dipende dal "sistema prodotto":

- Nelle imprese manifatturiere, PLM si occupa della singolo prodotto (artefatto), progettato, prodotto, distribuito in una catena dettagliata e, infine, dismesso e riciclato;
- Nelle aziende EPC, PLM si occupa della progettazione di un prodotto complesso, la sua installazione sul campo e la sua manutenzione e gestione;
- Nel mondo dei servizi, PLM si occupa del concetto di servizio offerto, la progettazione dell'infrastruttura necessaria per fornire tali tipo di servizio e con la sua gestione e la manutenzione.

Questi "sistemi di prodotto" hanno in comune la visione PLM e la necessità di gestire una grande quantità di dati relativi al prodotto che vengono generati nelle varie fasi del ciclo di vita del prodotto. Questa esigenza è sempre più sottolineata dalla presenza di molte aziende che collaborano. In termini di processi, PLM comprende una serie di essi, a seconda del livello di applicazione / implementazione. Potrebbe essere detto che una definizione generale del processo aziendale è un compito difficile. In effetti, in letteratura esistono molti contributi in tal modo. Una delle iniziative più importanti è il progetto ENAPS (European Network for Advanced Performance Studies) [26]. L'obiettivo di questo progetto concluso è stato quello di sviluppare un insieme generico di processi e relative misure di prestazione da utilizzare per l'analisi comparativa delle imprese. Questa serie di misure di rendimento potrebbe consentire alle imprese di visualizzare dati di misurazione delle prestazioni da altre imprese in tutta Europa e di vedere la loro posizione relativa in una tabella dei risultati delle prestazioni. L'ENAPS identifica quattro processi aziendali rilevanti. Un'altra importante iniziativa, attualmente in fase precoce, è il VCOR (Value Chain Operation Reference model, [43]). VCOR intende ampliare l'iniziativa ben conosciuta e accettata di SCOR (Supply Chain Operations Reference Model), fornendo un modello di riferimento internazionale per le attività elaborate che tengono conto anche dello stream NPD principale. Il modello VCOR è costituito da 3 livelli di processo. Il livello 1 consiste nel pianificare, commercializzare, sviluppare, vendere, generare, distribuire, sostenere e restituire categorie di processi di catena di valori. Il modello è definito in livelli successivi di dettaglio ai livelli 2 e 3. Il livello 4, non definito in questo progetto, è dove avviene l'implementazione specifica dell'azienda. A ogni livello appropriato, VCOR intende fornire le seguenti informazioni:

- Descrizioni di processo standard
- Best Practices
- Metriche
- Ingressi / Output.



Fig 8 VCOR Value Chain Operation Reference

L'autore ha cercato di elaborare un modello di riferimento. La tabella riassume i processi aziendali (utilizzando l'ENAPS citazioni [26]) lungo il diverso ciclo di vita del prodotto identificando (PLC) le fasi. Le aziende collaborano con altre aziende (locali o non locali) attraverso le varie fasi del ciclo di vita del prodotto (facendo co-design, co-ingegneria, coproduzione, co-manutenzione).

<i>Fasi Prodotto</i>	<i>Processi</i>
<i>Sviluppo prodotto</i>	R & S, ricerca tecnologica Definizione dell'idea Ottenere l'impegno del Cliente Analisi e sviluppo del mercato Sviluppo del prodotto Nuova introduzione sul prodotto Ricerca del prodotto Definizione e progettazione dettagliata del prodotto Progettazione, definizione e progettazione di processi
<i>Produzione prodotto</i>	Realizzazione dell'ordine Approvvigionamento e logistica in entrata Pianificazione e controllo della produzione Distribuzione e logistica in uscita Elaborazione dell'ordine I saldi
<i>Uso del prodotto</i>	Assistenza clienti Manutenzione e servizi post vendita
<i>Dismissione prodotto</i>	Assistenza clienti Il prodotto riprende Raccolta differenziata

Tab 4 Processi principali dello sviluppo prodotto

Oggi la pressione competitiva spinge queste aziende ad affrontare in modo più efficiente la collaborazione, riorganizzarsi e adottare tecnologie software che lo supportano. Una linea guida per sostenere la modellazione e la riorganizzazione del processo società è assolutamente necessaria prima di adottare uno strumento software PLM, ma al momento questa linea guida manca ancora nel mercato e nella ricerca. Anche le relative performance metriche per l'azienda i processi non sono ben definiti e diffusi in tale tipo di concorso. Ci sono iniziative in atto, più a livello di consulenza (ad esempio [51], [55], [56], [57], [58]), che in termini di contributi di ricerca. Per esempio, la tabella propone una serie di metriche da misurare nei processi più rilevanti per valutare i progetti PLM, come definito in [57] utilizzando il Modello di riferimento ENAPS.

Ottenere l'ordine dal cliente	Sviluppo prodotto	Ordine di adempimento	Servizio clienti
Quota di mercato per il prodotto principale	Numero prodotti attivi	Ordine e tempo di realizzazione	Numero di prodotti difettosi. (non conformità)
Rapporto di costo del marketing	Numero di nuovi prodotti	Tempo di approvvigionamento materiale	Reddito da servizi di post vendita
Crescita numero di clienti	Tempo medio di sviluppo nuovo prodotto	Tempo di produzione a montaggio	Numero di reclami da parte del cliente finale
Riduzione clienti	Numero di prodotti lanciati in ritardo	Tempo di distribuzione	Tempo medio di gestione non conformità
Tempo di preparazione	Numero di coniugato	Costo di inventario	

Tab 5 Modello ENAPS

Lungo il ciclo di vita del prodotto vengono realizzati processi e attività secondo diversi metodi. Il concetto più rilevante di PLM è il ben noto Concurrent Engineering (CE) [27], e le iniziative connesse di analisi e ingegneria ([28], [29]). L'ingegneria concorrente è una gestione / approccio operativo che mira a migliorare il design dei prodotti, produzione, funzionamento e manutenzione sviluppando ambienti in quale personale di tutte le discipline (progettazione, marketing, produzione ingegneria, pianificazione dei processi e supporto) lavorano insieme e condividono i dati in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto. PLM è in parte un'evoluzione del concetto CE, sostenuta da strumenti e funzionalità ICT. Value Engineering è un approccio organizzato per fornire le necessarie funzioni al minor costo. Fin dall'inizio il concetto di valore l'ingegneria è stata considerata un'esercitazione di convalida dei costi, che non ha influenzato la qualità del prodotto. L'omissione diretta di un miglioramento non sarebbe considerata ingegneria di valore. Questo ha portato alla seconda definizione del valore ingegneristico, che è un approccio organizzato all'identificazione e all'eliminazione di costi inutili. Il costo non necessario è costo che non fornisce né uso, né vita, né qualità, né aspetto, né caratteristiche al cliente. L'analisi dei valori e la metodologia di ingegneria oggi è facilmente implementabile utilizzando strumenti ICT di PLM. Altri metodi e metodologie interessati dal PLM concetto sono i seguenti:

- DfX (Design For X): Principio di progettazione secondo cui l'attenzione deve essere posta nel progetto ai punti di vista relativi ai seguenti processi (es. Design per la produzione, la progettazione per l'assemblaggio, la progettazione per la catena di fornitura eccetera.).
- QFD (Quality Function Deployment): Processo sistematico per motivare un'azienda a concentrarsi sui propri clienti. È utilizzato da cross-funzionale per identificare e risolvere i problemi relativi alla fornitura di prodotti, processi, servizi e strategie.

- LCA (Life Cycle Assessment): metodo sviluppato per valutare la massa bilancio degli input e delle uscite dei sistemi e per organizzare e convertire quegli input e output in temi o categorie ambientali rispetto all'utilizzo delle risorse, alla salute umana e alle aree ecologiche.
- TRIZ (Teoria dell'invenzione di problem solving): una conoscenza basata, approccio sistematico all'innovazione. TRIZ coinvolge un'analisi sistematica del sistema da migliorare e l'applicazione di una serie di linee guida per la definizione dei problemi. L'analisi TRIZ comprende un integrato l'approccio del sistema, l'analisi delle funzioni e la modellazione delle funzioni.
- FMEA & FMECA (Modalità di guasto, Effetti e analisi di critica): Metodo utilizzato per identificare i tipi di errore potenziali al fine di definire il suo effetto sull'oggetto esaminato.

Concludendo il capitolo, si potrebbe dire che il concetto PLM è un mondo variegato, o in altre parole PLM è olistico: riunisce prodotti, servizi, strutture, attività, processi, persone, competenze, sistemi applicativi, dati, informazioni, conoscenze, tecniche, pratiche, abilità e standard.

2.4 STATO DELL'ARTE DEGLI HMS HOLONIC MANUFACTURING SYSTEM

2.4.1 INTRODUZIONE A HMS

Questo capitolo analizza e presenta una nuova area di ricerca nella pianificazione e controllo della produzione, denominata Holonic Manufacturing System. Si concentra sullo sviluppo storico del concetto di Olone partendo da un contesto filosofico verso l'applicazione nei sistemi produttivi. Poi saranno introdotti alcuni dei lavori più rilevanti svolti su HMS cercando di spiegare in quali termini essi possono essere significativi per lo sviluppo di un modello di riferimento nella tracciabilità del ciclo di vita del prodotto.

Oggi i requisiti di impresa stanno cambiando per adattarsi all'evoluzione dei nuovi mercati, clienti e fornitori. Attuali tendenze di mercato mostrano come produrre beni di alta qualità ad un prezzo contenuto è solo uno di questi requisiti. L'industria manifatturiera sta affrontando nuove sfide: un mercato orientato al cliente, dove l'eccedenza della capacità industriale aumenta come la possibilità di scelta del cliente di pari passo con la concorrenza tra produttori. Ciò porta i fornitori a fornire un prodotto in costante evoluzione, flessibilità nella personalizzazione ed efficaci servizi post-vendita. Dal punto di vista produttivo, questi requisiti implicano una nuova visione che dovrebbe garantire:

- Prodotto con più caratteristiche e varianti,
- Ridotto ciclo di vita del prodotto,

- Ridotto il tempo di commercializzazione,
- Produzione flessibile,
- Investimento ridotto.

Come conseguenza di questi requisiti, nuove condizioni di produzione possono essere sintetizzate in "crescente complessità e cambiamento continuo diminuendo i costi "[61]. L'approccio top-down: da esigenze di business a requisiti di produzione suggeriscono alcune caratteristiche importanti che un sistema di controllo di produzione dovrebbe svolgere, ad esempio un architettura decentralizzata basata su prodotti e risorse.



Fig 9 Approccio Top-Down

Un controllo di produzione dovrebbe essere anche auto-organizzante, reattivo, proattivo e flessibile. Questi requisiti sono visualizzati nella tabella

	Standardizzazione	Struttura minima del sistema	Struttura intuitiva/trasparente	Flessibilità Riconfigurabile	Scalabile	Solidità
ARCHITETTURA DECENTRATA			X	X	X	X
ARCHITETTURA BASATA SU PRODOTTI/RISORSE		X	X	X	X	X
ITERAZIONI ASTRATTE/GENERALIZZATE	X			X	X	

CONOSCENZA ITERAZIONE FLESSIBILI			x	x	x	x
CAPACITA' REATTIVE			x			x
CAPACITA' PROATTIVE			x	x	x	
AUTO ORGANIZZAZIONE	x	x		x	x	

Tab 6 Caratteristiche principali di un modello di controllo di produzione

Fin dai primi anni '90 sono stati spesi molti sforzi e investimenti per sviluppare e sintonizzare nuove strategie di sistema di controllo di produzione: progettate per essere modulari, flessibili, sensibili e robuste per un ambiente produttivo in rapida evoluzione che integra prodotti, risorse, macchine, esseri umani e computer. Di conseguenza, sono state sviluppate le seguenti tecniche di controllo [62]:

- sistema di produzione bionico,
- Sistema di produzione genetica,
- Sistema di produzione virtuale,
- Sistema di produzione casuale,
- Produzione basata su responsabilità sistema,
- fabbrica di frattali,
- sistema di produzione Holonic.

HMS è più di un semplice sistema di controllo perché coinvolge il concetto come prodotti intelligenti, che collega l'oggetto fisico e quello connesso informazioni e tracciabilità del prodotto. Può essere pensato, anzi, come un "Approccio del sistema di ingegneria" per la progettazione dell'intero processo di produzione, piuttosto che un semplice software di controllo [63].

2.4.2 DEFINIZIONE DI HMS

I sistemi di produzione Olonici sono sistemi di controllo basati sul concetto di Olone: questo concetto è stato introdotto per la prima volta nel 1967 da Arthur Koestler [64], un filosofo che era interessato a studiare la evoluzione del sistema biologico e sociale. La parola Olone, proposta da Koestler, è una fusione tra la parola greca "Holos" e il suffisso "on": Holos significa un intero, il suffisso su sta per una parte o una particella. La combinazione di queste due parole è un neologismo che trasmette l'idea di qualcosa come un'entità indipendente e autonoma considerata come un compatto complesso di sottosistemi. Questi sottosistemi possono essere essi stessi un insieme composto da altri sottosistemi. Secondo [63], gli Oloni sono organizzati in olarchi: le alghe sono organizzazioni gerarchiche di Oloni. Sono strutture gerarchiche basate su sottosistemi, ognuno di essi essendo se stesso un insieme di Oloni e, anzi, un'Olarchia. Questo spiega perché le Olarchie sono considerate aperte nella parte superiore e nella parte inferiore. Un Olone ha una doppia natura di un intero e di una parte: come parte è un insieme di sotto-parti; nel suo complesso è un parte di un insieme più ampio. Questo è il cosiddetto effetto Janus: doppia natura di holoni come interi e parte allo stesso tempo. Questo ha portato Koestler a dichiarare che una parte o un insieme non può essere definito in senso assoluto proprio perché un intero non esiste come entità autonoma, ma è

sempre un parte di un altro livello superiore. Questo vale anche per lo stesso modo le Olarchie perché le alghe sono strutture gerarchiche di un intero.



Fig 10 Olarchia in un Sistema di alghe

2.4.3 COMPORTAMENTO DELL'OLONE

Questa teoria cerca di spiegare la struttura e il comportamento del complesso sistema che è stato sviluppato solo a questo scopo, ovviamente non si pensa a sistemi di controllo. L'osservazione di sistemi complessi sottolinea che questi i sistemi sono organizzati in strutture gerarchiche costituite da stabili forme intermedie. Non sono pertanto semplici aggregazioni di elementi elementari, ma piuttosto le gerarchie multilivelli di sottosistemi stabili ramificando i sottosistemi di ordine inferiore. Il loro comportamento segue la loro struttura in modo che non sia una semplice catena di comportamenti di elementi elementari. Un holone è caratterizzato da due proprietà comportamentali di base:

- Autonomia
- Cooperazione.

L'autonomia corrisponde alla tendenza auto-assertiva di holoni che danno loro l'opportunità di agire autonomamente dagli altri in caso di circostanze imprevedibili. La cooperazione è la tendenza che gli holoni mostrano per cooperare insieme in condizioni stabili. Questa polarità tra tendenze auto-assertive e cooperative può facilmente essere osservato in colonie biologiche, negli esseri umani e anche in contesti di produzione. Esempi di comportamenti auto-assertivi nell'uomo gli esseri sono in concorrenza, esiste individualismo, nazionalismo,

ecc le tendenze cooperative sono la collaborazione, l'adattamento flessibile, ecc. Una struttura gerarchica, come un'olarchia, è costituita da elementi elementari entità che eseguono i loro compiti e un insieme di regole (o vincoli). Oloni nell'olarchia sono governati da set di regole fisse (chiamati canoni) che determinano le proprietà invarianti del sistema, la sua configurazione strutturale e comportamento funzionale. Il canone definisce azioni e comportamenti che gli oloni possono eseguire o mostrare in conformità a queste regole. Ogni holone, dall'altra parte, ha la possibilità di scegliere in modo flessibile la strategia appropriata all'interno del canone per azioni effettive o in tempo reale. Il comportamento di un unico holone è quindi libero tra le strategie da intraprendere e vincolato da regole fisse. Il punto di rottura tra canoni e le strategie flessibili dipendono dal contesto

2.4.4 CONCETTO DI OLONE NELLA PRODUZIONE:HMS

Questi concetti sono stati studiati per renderli idonei alla produzione, sistemi che sono esempi di ambienti complessi e dinamici. I sistemi di produzione, anzi, sono fatti da molti tipi diversi entità come i prodotti, le macchine, i computer, gli esseri umani e altri; essi devono affrontare anche pianificazione flessibile della produzione, in rapida evoluzione, volume di produzione, configurazioni di prodotto e così via: i sistemi di produzione Olonica sono il risultato della reinterpretazione della teoria Olonica in ottica di sistema di produzione. L'idea di produzione Olonica è stata introdotta per la prima volta all'inizio degli anni '90 [65] con lo scopo di sviluppare un nuovo approccio "plug and play" al disegno del sistema di produzione. Da allora, molte ricerche e progetti sono in corso e questo campo di ricerca è considerato uno dei punti di frontiera più avanzata nel sistema di produzione intelligente. Ecco perché HMS è diventato uno dei sei principali progetti di ricerca di Intelligent Programma comunitario del sistema di produzione. Include Australia, Canada, la Comunità europea (CE), l'Associazione europea di libero scambio (EFTA), Giappone e Stati Uniti per fornire ricerche internazionali, organizzazione e standardizzazione. Il consorzio HMS ha sviluppato il seguente elenco di definizioni per aiutare a comprendere e guidare la traduzione dei concetti Olonici in un ambiente di produzione:

- Holon: un blocco di costruzione autonomo e cooperativo di un sistema produttivo per la trasformazione, il trasporto, la memorizzazione e / o la convalida di informazioni e oggetti fisici. L'olone consiste in una parte di elaborazione delle informazioni e spesso una parte di elaborazione fisica. Un Olone può essere parte di un altro Olone.
- Autonomia: La capacità di un'entità di creare e controllare l'esecuzione dei propri piani e / o strategie.
- Cooperazione: un processo in cui un insieme di entità sviluppa piani reciprocamente accettabili ed esegue questi piani.
- Olarchia: un sistema di holoni che possono cooperare per raggiungere un obiettivo. L'Olarchia definisce le regole di base per la cooperazione degli holoni e limita quindi la loro autonomia.
- Hologonic Manufacturing System (HMS): un'ecologia che integra l'intera gamma di attività produttive degli ordini attraverso la progettazione, la produzione e il marketing per realizzare l'impresa manifatturiera agile.

- **Attributi Holon:** Gli attributi di un'entità che lo rendono un Olone. Il set minimo è l'autonomia e la cooperatività.
- **Holonomy:** La misura in cui un'entità presenta attributi Olonici.

2.4.5 STATO DELL'ARTE IN HMS

Questa sezione si concentrerà sulle principali attività eseguite in HMS contesto e prospettive più brillanti in questo settore. Tra queste opere e le ricerche, sul ramo più interessante, sono quelle delle architetture di riferimento sviluppo, incentrato sulla pianificazione e il controllo della produzione. Questo è perché viene fornita una breve panoramica su diversi tipi di architettura. Dopo di che esploriamo brevemente un significativo esempio di riferimento di architettura HMS all'interno di un'impresa produttiva ambiente e come gli stessi concetti Olonici possono essere estesi all'esterno l'impresa in un ambiente di mercato concentrato.

2.4.5.1 ARCHITETTURE DI SISTEMA

L'architettura di sistema può essere definita come un prodotto di un processo di progettazione; esso è la soluzione per un problema specifico e, all'interno di questa soluzione, comprende la struttura della soluzione, i componenti della soluzione e le loro relazioni. Le architetture di sistema sono spesso utilizzate nel processo di progettazione perché sono descrizione astratta del sistema complesso. Ciò significa che sono utili per comprendere questi sistemi con un modello semplificato, determinando quali sono componenti vitali e che non possono essere modificate durante il processo di ridisegno e possono fornire diverse visioni dello stesso sistema. Le architetture di sistema possono essere generalizzate e raggruppate in "Architetture di riferimento", raccolgono principi e regole di base per lo sviluppo del sistema in un dominio specifico. In questo modo possono essere utilizzati per la progettazione dell'architettura del sistema per un particolare sistema o ambiente utilizzando elementi predefiniti e standardizzati. Per quanto riguarda il sistema di controllo, sono state le architetture di riferimento sviluppatasi principalmente seguendo due diversi approcci teorici: architetture di controllo gerarchiche e quelle eterarchiche.

2.4.5.2 ARCHITETTURE GERARCHICHE VS ETERARCHICHE

L'idea di sviluppare architetture gerarchiche deriva strettamente dall'osservazione di sistemi complessi naturali: in ognuno di essi si può trovare qualsiasi tipo di gerarchia sia nell'organizzazione strutturale delle entità che nelle loro relazioni. All'interno di questo tipo di strutture, i comandi seguono un itinerario top-down mentre le informazioni di feedback forniscono un flusso di livello inferiore. Ci sono molti tipi di strutture gerarchiche: una era l'architettura ISO 10314. La caratterizzazione principale di queste strutture è il loro comportamento deterministico, basato sulla strutturazione fissa dei componenti. Questo è un punto chiave per comprendere le proprietà principali delle strutture gerarchiche:

- Difficoltà nella modifica della struttura,
- Impossibile incorporazione di modifiche impreviste,

- Gli imprevisti (come una rottura macchina) possono invalidare il comportamento o le prestazioni del sistema,
- Una metodologia di sviluppo top-down implica ulteriori vincoli.

D'altra parte, le strutture eterarchiche cercano di superare i limiti e le inefficienze proprie delle gerarchie. A questo scopo sono progettati come una struttura piatta costituita da entità indipendenti (dette anche agenti) che rappresentano attività o risorse e che operano tramite meccanismi dinamici di mercato. Poiché questi agenti sono indipendenti e non sono vincolati da regole o parametri predefiniti, il sistema è diventato tollerante ai guasti: significa che può facilmente adattarsi e sopravvivere a disturbi imprevisti. La forza del sistema eterarchico è anche una debolezza se si considera che:

- le prestazioni globali possono ampiamente variare usando regole di mercato differenti;
- il sistema di controllo non può garantire un livello di prestazioni minimo quando il sistema funziona al di fuori del campo di applicazione per cui le regole sono state sintonizzate,
- la previsione del comportamento degli ordini individuali è impossibile.

Esempi tipici di una tale architettura sono il Multi Agents System [66]: la cooperazione tra entità indipendenti viene raggiunta con algoritmi di controllo che rappresentano diverse regole di marketing.

L'Olarchia è uno sforzo per superare questa duplice visione delle architetture di sistema: il suo approccio non è né gerarchico né eterarchico, ma cerca di fondere le qualità e i vantaggi comuni di entrambi. È eterarchico in quanto è composto da elementi autonomi e cooperativi (Oloni). Gerarchico quando queste entità sono raggruppate formando gerarchie temporanee. Una delle opere più rilevanti in HMS è stata lo sviluppo di una tale architettura da parte di Jo Wins nel 1999 e viene chiamata PROSA [62].

Il nome PROSA è l'architettura del Product-Resource-Order-Staff e questa parola sintetizza brevemente gli elementi di base di questa architettura: cioè quattro ruoli. Indipendentemente da una società specifica, ci sono sempre tre problematiche di produzione fondamentali e relativamente indipendenti che si occupano di risorse, tecnologia dei processi produttivi e logistica. Questi tre aspetti possono essere completamente modellati per mezzo di rispettivamente Oloni di risorse, Oloni di prodotti e Oloni di ordine.

Oloni di risorse: contengono una parte fisica, ovvero una risorsa di produzione del sistema di produzione e una parte di elaborazione delle informazioni che controlla la risorsa. È un'astrazione dei mezzi produttivi come una fabbrica, un negozio, macchine, forni, convogliatori, condutture, pallets, componenti, materie prime, utensili e così via.

Oloni del prodotto: detengono il processo e la conoscenza del prodotto per assicurare la corretta realizzazione del prodotto con qualità. Un Olone di prodotto contiene informazioni costanti e aggiornate, il ciclo di vita del prodotto, requisiti degli utenti, progettazione, piani di processo, la distinta base, procedure di garanzia della qualità ecc. Contiene il "modello di prodotto" del tipo di prodotto, non il "Modello di stato prodotto" di un'istanza fisica prodotta.

Oloni di ordine: rappresenta un compito nel sistema produttivo. È responsabile dell'esecuzione corretta e tempestiva del lavoro assegnato. Gestisce il prodotto fisico prodotto, il modello di stato del prodotto e tutte le elaborazioni di informazioni logistiche relative a quel lavoro. Può rappresentare gli ordini dei clienti, ordini di ordini, ordini di prototipazione, ordini di manutenzione e riparazione delle risorse. Questi tre tipi di holoni scambiano tre tipi di conoscenze sul sistema produttivo:

- conoscenza del processo
- conoscenza della produzione
- conoscenza dell'esecuzione del processo.

Oltre a questi tre tipi di holoni, PROSA definisce un'altra, che è Staff Holon. Questi aloni funzionano come assistenti ad altri holoni nel sistema: forniscono le informazioni necessarie per supportare gli Oloni a svolgere i propri compiti e prendere decisioni corrette e risolvere i problemi. Sono un miglioramento a tre tipi di Oloni di base nel senso che possono aiutare gli Oloni disturbati, ma non sono un rigido rigore per l'autonomia dei Oloni nel prendere decisioni per fare il loro lavoro. Esempi di tali staff possono essere programmatori, controlli on-line del negozio, pianificatori di sequenze di processo, sistemi CAD, sistemi MRP e altro ancora.

Tutti questi holoni gestiscono i dati e svolgono funzioni specifiche: un Olone di risorse mantiene i dati sulle sue funzionalità, le sue attività in esecuzione, i registri delle attività e svolge funzioni come l'elaborazione iniziale, il controllo delle esecuzioni di processo, la gestione di sotto reti, e la pianificazione della manutenzione.

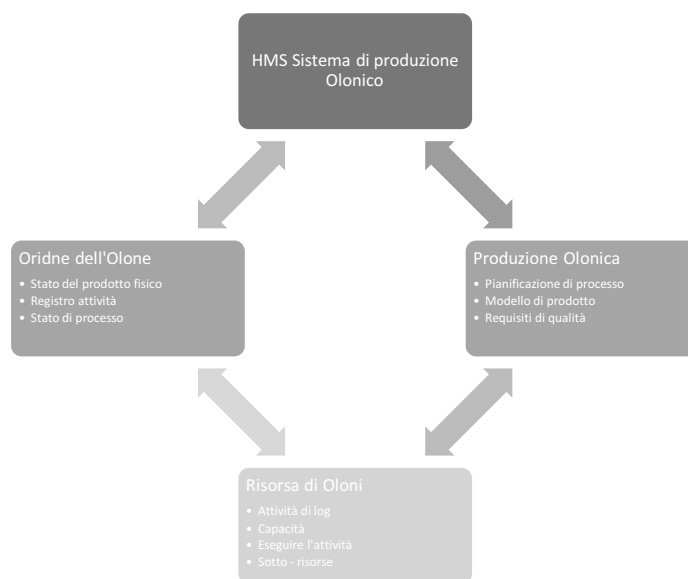


Fig 11 HMS Sistema Olonico

2.4.5.3 OLONI NELLA PROGRAMMAZIONE E CONTROLLO DELLA PRODUZIONE

Il sistema di produzione Olonico è un nuovo modo di progettazione del sistema, come già mostrato, piuttosto che un semplice problema di controllo. Significa che richiede un nuovo approccio di pensiero relativamente agli ambienti di produzione, vanno oltre gli schemi tradizionali. Dal punto di vista della pianificazione e del controllo della produzione, anche un'architettura ampiamente accettata e convenzionale come la MESA (Fig 12) non ha potuto soddisfare nuovi requisiti di un'implementazione olonica. È un dato di fatto che spesso è impossibile cancellare un sistema di pianificazione e controllo della produzione ben noto e affidabile, sostituendolo con un nuovo elemento: prima di tutto perché le architetture oloniche sono ancora in fase di analisi e sviluppo, oltre al fatto che richiedono un profondo ri-disegno del software di controllo e delle interfacce tra le entità oloniche, dando loro un'adeguata interfaccia con gli esseri umani.

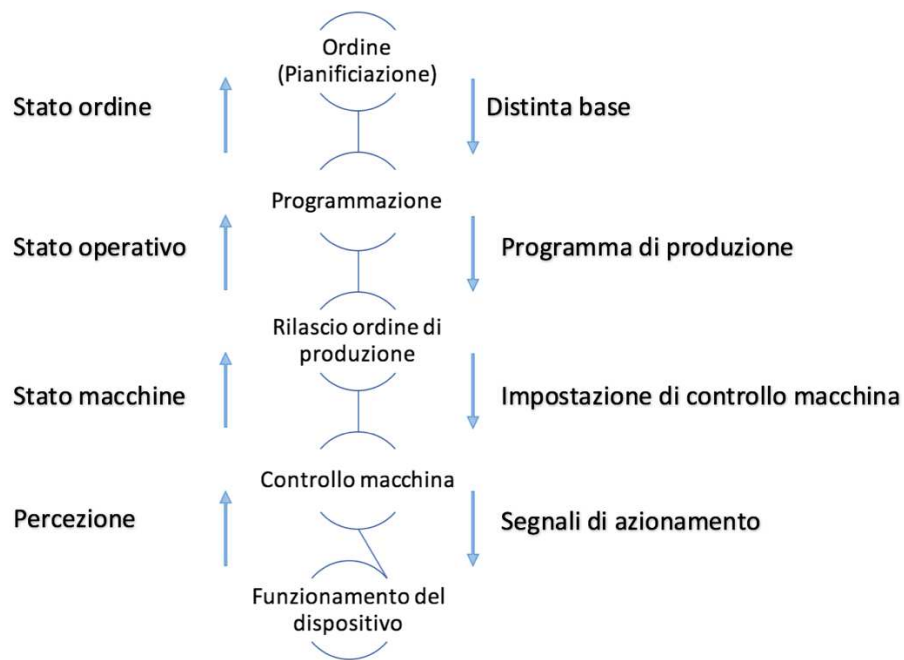


Fig 12 Architettura MESA

Nonostante queste difficoltà, è possibile procedere passo dopo passo, migrando dall'architettura di controllo standard e classica verso un Olone.

Capitolo 3

DEFINIZIONE DI PROTITPO

VIRTUALE IN PLM

3.1 CONCETTI E CLASSIFICAZIONE

"Prototipo" è un concetto ampiamente diffuso e ha significati specifici in diversi settori, come la scienza di calcolo, metrologia e patologia, ecc. Nello sviluppo del prodotto esistono altri due concetti simili a "prototipo": "modello" e "mock-up ". Per evitare confusioni, è necessario distinguerli all'inizio di questo capitolo.

Nel dizionario Longman [67], "modello" si riferisce a "una piccola copia di un edificio, un veicolo, una macchina ecc", mentre "mock-up" viene descritto come "un modello a grandezza intera di qualcosa che verrà fatto o costruito ". Il "prototipo" è definito come "la prima forma di un nuovo design di un'auto, una macchina, ecc". Inoltre, Ulrich e Eppinger [68] definiscono il prototipo come "un'approssimazione del prodotto lungo una o più dimensioni di interesse". Dalle definizioni di cui sopra, si scopre che un "modello" è di solito più piccolo dell'originale mentre "mock-up" è una rappresentazione in scala. Rispetto agli altri due concetti, il concetto di "prototipo" copre una gamma più ampia e non ha limitazioni per quanto riguarda la sua dimensione: modelli di dimensioni reali o in scala ridotta. Bond [71] ha anche affermato che il termine prototipo è tutto abbraccia. Dipende dai semplici modelli da cartone e da disegno a prototipi realizzati con precisione ingegneristica e quasi indistinguibili dal prodotto finito previsto. Inoltre, Ulrich e Eppinger [69] e Rooden [70] hanno anche suggerito che gli schizzi ruvidi dovrebbero essere considerati anche come prototipi.

Inoltre, anche se i dizionari definiscono il prototipo solo come un sostantivo, la parola può anche essere usata come verbo [69]. Sulla base delle definizioni dei prototipi, la prototipizzazione si riferisce alle attività e al processo di creazione e sviluppo di prototipi [69, 72]. Pertanto, il prototipo e la prototipizzazione sono due concetti che sempre si collegano tra di loro e non devono essere suddivisi.

Lo scopo di costruire un prototipo (ovvero la prototipazione) è di solito incarnare ipotesi di progetto, testare la funzione e il tatto del nuovo design e sollecitare il feedback del mercato prima della produzione di un prodotto [68, 73, 74]. Ad esempio, i progettisti industriali usano prototipi per sviluppare l'aspetto del prodotto (inclusi estetica e dichiarazione dei paradigmi semantici, studi di ergonomia, di assemblaggio ecc.),

Durante la progettazione e lo sviluppo di un nuovo prodotto, diverse classi di prototipi saranno costruiti in sequenza per soddisfare diversi compiti di test. Come Schrage [75] ha dichiarato, non tutti i prototipi sono gli stessi, sia come vengono costruiti, sia nel ruolo che svolgono nel processo di progettazione.

3.2 VANTAGGI DEI PROTOTIPI / DELLA PROTOTIPAZIONE

La prototipazione è l'attività fondamentale che crea l'innovazione, la collaborazione e la creatività nel design [74]. Schrage [75] ha dichiarato che le aziende che vogliono costruire prodotti migliori devono imparare a costruire migliori prototipi. Nel processo di sviluppo dei prodotti, i prototipi svolgono un ruolo chiave in quasi tutte le fasi, fin dall'inizio dello sviluppo del concetto fino alla pre produzione [76] e ogni aspetto del prodotto deve essere considerato e approvato dal progettista e dal cliente con prototipi [77]. L'importanza dei prototipi si riflette principalmente nel verificare la fattibilità di un concetto di progettazione dei prodotti, migliorando il coinvolgimento degli utenti e la comunicazione tra clienti, manager, produttori e esperti del team di progettazione che da diversi reparti.

I prototipi possono anche agire come mezzo per la gestione dei rischi [73] e sono strumenti estremamente importanti per migliorare la qualità delle decisioni di progettazione [76]. Nella prima fase di sviluppo concettuale di un prodotto, la prototipazione è di solito utilizzata per verificare la fattibilità del design, scoprire fenomeni imprevisti, errori di design catturati e cambiamenti [78, 79]. Rosenau [80] ha inoltre affermato che il test dei prototipi è un mezzo efficace per ridurre le sorprese e eventuali modifiche di progettazione successivamente richieste. Ciò potrebbe evitare investimenti inutili, compresi costi e tempi, prima che i dettagli siano definiti al punto in cui l'aspetto, l'accuratezza e la precisione siano importanti [76].

L'importanza del coinvolgimento degli utenti per il successo dello sviluppo dei prodotti è stata menzionata in precedenza. Poiché i prototipi possono dare ai potenziali clienti e agli utenti esperienze pratiche con il prodotto, compresa l'estetica e l'ergonomia, ecc. [81], il coinvolgimento degli utenti deve essere migliorato dagli utenti "sperimentati con prototipi del prodotto previsto" [82]. Schrage [76] ha anche suggerito che, in un design centrato sul cliente, il cliente deve avere l'opportunità di vedere e provare i prototipi evolvendo. Pertanto, i prototipi svolgono un ruolo importante per facilitare il coinvolgimento degli utenti. Inoltre, in un team di sviluppo di prodotti, i membri di diverse aree (progettazione, ingegneria, gestione, ecc.) Devono lavorare insieme. I prototipi possono agire come strumento di comunicazione e dimostrazione per dimostrare loro la realizzazione degli obiettivi e delle tappe del progetto e ottenere feedback dai fornitori, dai fornitori e dalla gestione [71].

3.3 RISCHI DEI PROTOTIPI / DELLA PROTOTIPAZIONE

I prototipi hanno mostrato il loro impatto significativo sul processo di progettazione. Tuttavia, come suggerito da Otto e Wood [71], la validazione del modello è importante ma spesso costosa e richiede tempo [71]. L'uso improprio dei prototipi provocherà sprechi di denaro e tempo, ritarda il lancio del prodotto sul mercato, riducendo così il vantaggio competitivo delle aziende. Le principali domande che dovranno essere risolte sono:

- Quando dovrebbe essere costruito un prototipo?
- Quanto realistico dovrebbe essere un prototipo?

Baxter [83] ha suggerito che i prototipi dovrebbero essere costruiti solo quando è essenziale. Ha spiegato che la prototipazione è un'attività che richiede tempo e inevitabilmente devia lo sforzo da altre attività. Ha sottolineato che i progettisti dovrebbero evitare di "costruire un

prototipo" senza studiare e pianificare attentamente. Al contrario, invece di produrre prototipi quando i team di progettazione pensano di farlo è appropriato, alcune organizzazioni sensibili al tempo stanno ora sostenendo la filosofia di "costruirla semplicemente" nello sviluppo di prototipi [75]. La loro teoria è quella di ottenere informazioni il più presto possibile attraverso la costruzione e la prova di semplici prototipi o imitazioni nel processo di sviluppo del prodotto. Anche se il prototipo fallisce, apprendono dal fallimento, piuttosto che pianificare attentamente per lungo tempo [76]. Tuttavia, la scelta della teoria sopra dipenderà dal particolare contesto. Se il prototipo sarà complesso e costoso, la prima teoria dovrebbe essere più adatta per evitare i rifiuti; se il prototipo è solo un modello iniziale, questa ultima dovrebbe essere più preferibile.

Secondo lo studio delle classificazioni dei prototipi, il grado di realismo dei prototipi varia. Potrebbe essere un modello molto rudimentale o un prototipo di pre-produzione che è sostanzialmente lo stesso del prodotto finale. Tuttavia, l'azienda e i progettisti non hanno infinito tempo o soldi per costruire un prototipo perfetto [78]. Quanto realistico dovrebbe essere un modello dipende da molti fattori diversi, tra i quali il principale è il layout del modello, la scelta dei materiali e la quantità di tempo disponibile [84]. Ad esempio, nella fase iniziale del disegno del prodotto, un breve schizzo manuale è preferibile ad un assieme particolareggiato più lungo per sviluppare idee e comunicare con altri del team, clienti o insegnanti [85]. Inoltre, poiché il modello è un mezzo per il progettista, non per l'obiettivo, l'energia necessaria per i modelli di costruzione deve quindi essere minima [84]. Ciò è sostenuto anche da Baxter [83], il quale ha suggerito che i prototipi dovrebbero essere mantenuti il più semplice e meno costosi possibile durante le fasi iniziali del processo di progettazione e che i prototipi dovrebbero essere sviluppati solo al minimo grado di complessità e sofisticazione necessaria per ottenere le risposte che sono necessarie.

3.4 PROTOTIPI VIRTUALI E PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

Al fine di ridurre i costi e i tempi di sviluppo, le aziende si rivolgono sempre più a metodi di prototipazione virtuale durante le fasi iniziali dello sviluppo del prodotto. Tali metodi possono variare da schizzi ad dettagliati modelli 3D. Le rappresentazioni visive sono integrate da modelli fisici realizzati con attrezzature di prototipazione rapida o abilità tradizionali di modellizzazione [86].

3.5 DEFINIZIONI E CLASSIFICAZIONE

La letteratura mostra che le definizioni dei prototipi virtuali e della prototipazione sono più diversi e discutibili. Pertanto, è necessario essere chiari su ciò che prototipo virtuale è. Chua. [87] dall'Università Tecnologica di Nanyang afferma che la prototipazione virtuale (VP) è l'analisi e la simulazione eseguita su un modello computerizzato completamente sviluppato, eseguendo così gli stessi test di quelli sui prototipi fisici. Questa definizione indica che un modello virtuale può sostituire un prototipo fisico per analizzare e testare le attività.

Secondo Gowda et al. dalla Michigan State University, la prototipazione virtuale (VP) è una sorta di tecnologia che prevede l'utilizzo di Virtual Reality (VR) e di altre tecnologie informatiche per la creazione di prototipi digitali. Questa definizione ha appena classificato VP come strumento per "creare" un prototipo, ma non ha menzionato se VP potrebbe essere utilizzato in altre attività, come "modificare", "analizzare" o "testare" il prototipo. Song et al. dall'Università di Pennsylvania [88] afferma che: "per prototipazione virtuale, si fa riferimento al processo di simulazione dell'utente, del prodotto e della loro interazione combinata nel software attraverso le diverse fasi del design dei prodotti e l'analisi quantitativa del prodotto". In questa definizione, l'utente, il prodotto e la loro interazione sono componenti essenziali della VP. Inoltre, questa definizione mette in evidenza la tecnologia di prototipazione virtuale nel contesto di progettazione del prodotto e afferma il suo valore nell'analizzare un progetto di prodotto.

Tutte le definizioni di cui sopra hanno i propri rispetti mirati pur non riescono ad identificare alcuni elementi della natura della prototipazione virtuale. Sulla base dell'analisi di diverse versioni della definizione di VP, Gary Wang [89] dall'Università di Manitoba definisce la prototipazione virtuale come segue:

"Un prototipo virtuale, o un modello digitale, è una simulazione informatica di un prodotto fisico che può essere presentato, analizzato e testato dagli aspetti del ciclo di vita del prodotto, come la progettazione, la produzione, il servizio e il riciclaggio come se fosse un vero e proprio modello fisico. La costruzione e il test di un prototipo virtuale si chiama prototipazione virtuale (VP)".

Rispetto ad altri, questa definizione è relativamente completa e dettagliata. Dichiara diverse funzioni di VP in diverse fasi del processo di sviluppo del prodotto. Inoltre, la definizione di VP viene data sulla base della definizione di un prototipo virtuale, che definisce la relazione tra prototipi virtuali e prototipi fisici. Va notato che l'acronimo VP sta per prototipazione virtuale e non per il prototipo virtuale [89]. In questo rapporto vengono utilizzate frequentemente le frasi "prototipo virtuale" e "prototipazione virtuale", quindi è necessario differenziare i due concetti.

In termini di classificazione dei prototipi virtuali, Tseng et al [90] li ha classificati in due tipi, cioè prototipi virtuali immersivi e prototipi virtuali analitici. Tuttavia, letteralmente da quelle definizioni, un prototipo virtuale è un concetto generale. In un contesto diverso, potrebbe avere molti sinonimi. Allo stesso modo, come il processo di costruzione e di prova per un prototipo virtuale, la prototipazione virtuale potrebbe significare diverse tecnologie o attività particolari. Potrebbe significare l'uso di una sorta di pacchetto software, come Pro / Engineer, Solid 3D, Studio Alias, ecc.; o l'utilizzo di un sistema di analisi e di analisi, come Computer Fluid Dynamics (CFD) o Analisi Finite Element (FEA). In pratica, la prototipazione virtuale potrebbe agire come creare, costruire, modificare o analizzare un prototipo virtuale.

3.6 METODI DI PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

Secondo la definizione, la prototipazione virtuale è il processo di costruzione e test dei prototipi virtuali. Pertanto, lo studio dei metodi di prototipazione virtuale dovrebbe essere classificato in due parti, ad es. i metodi di costruzione e le modalità di test dei prototipi virtuali.

La costruzione di prototipi virtuali è di solito ottenuta attraverso il software di modellazione 3D. I pacchetti software utilizzati per la progettazione industriale sono Rhino, Pro / Engineer, Alias Studio, 3D SolidWorks (fig. 12) e così via. Tuttavia, questi pacchetti hanno solitamente diversi vantaggi nella modellazione. Ad esempio, Pro / Engineer è utile per modellare i solidi 3D (fig. 13) mentre Alias Studio è bravo a costruire modelli di superficie 3D (fig. 14). Nell'industria manifatturiera, il software di modellazione 3D è stato ampiamente utilizzato nella progettazione di prodotti, compresi gli aerei.

Per esempio, il "Boeing 777" è stato il primo aereo di Boeing ad essere completamente progettato utilizzando un framework CAD per ogni singola parte e sono stati costruiti complessivamente 350 milioni di parti [91] (fig. 15).

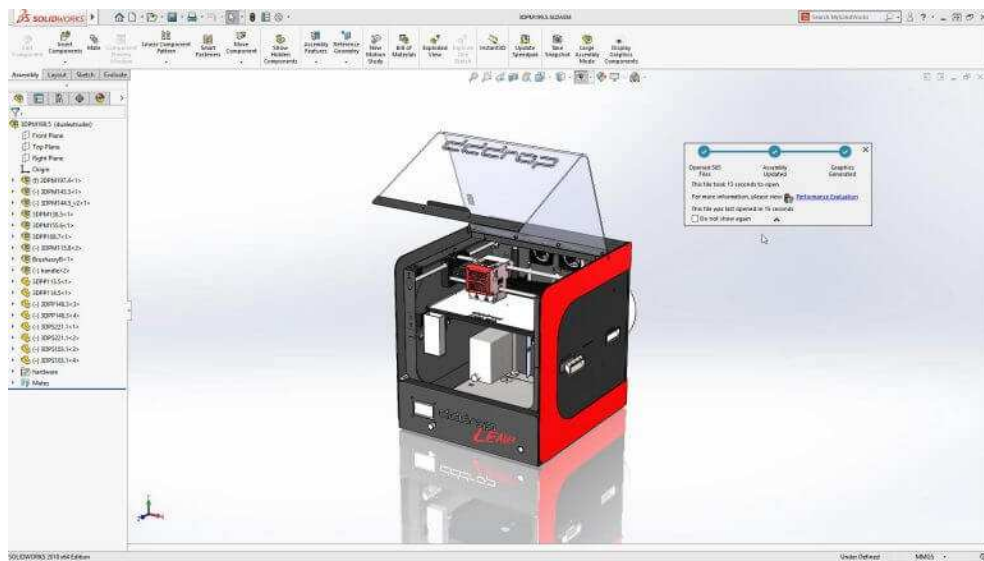


Fig 12 Assieme in Solidworks (2018)

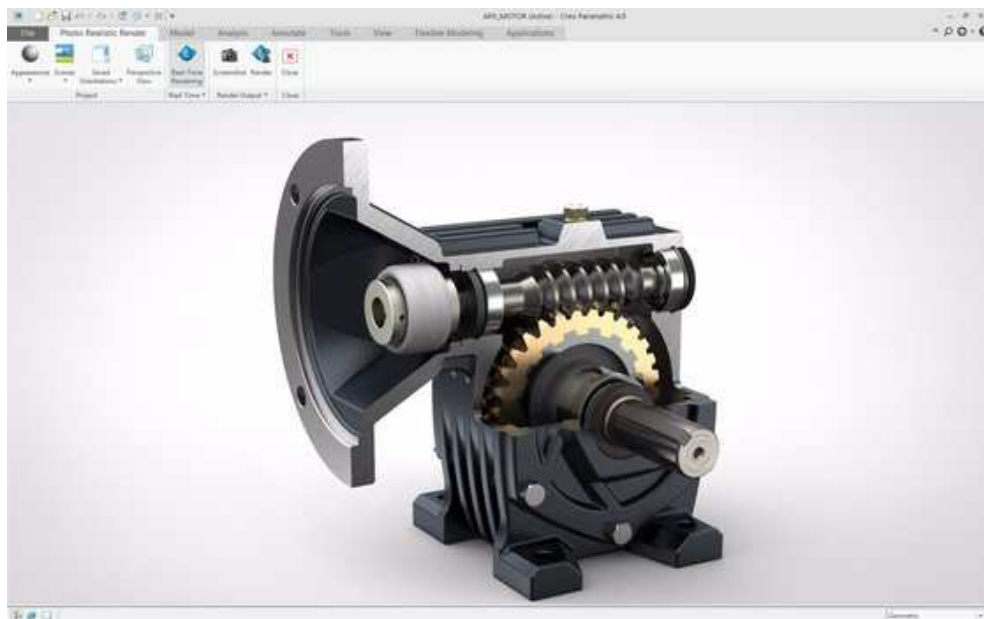


Fig 13 Assieme renderizzato in Pro/Engineer (2018)

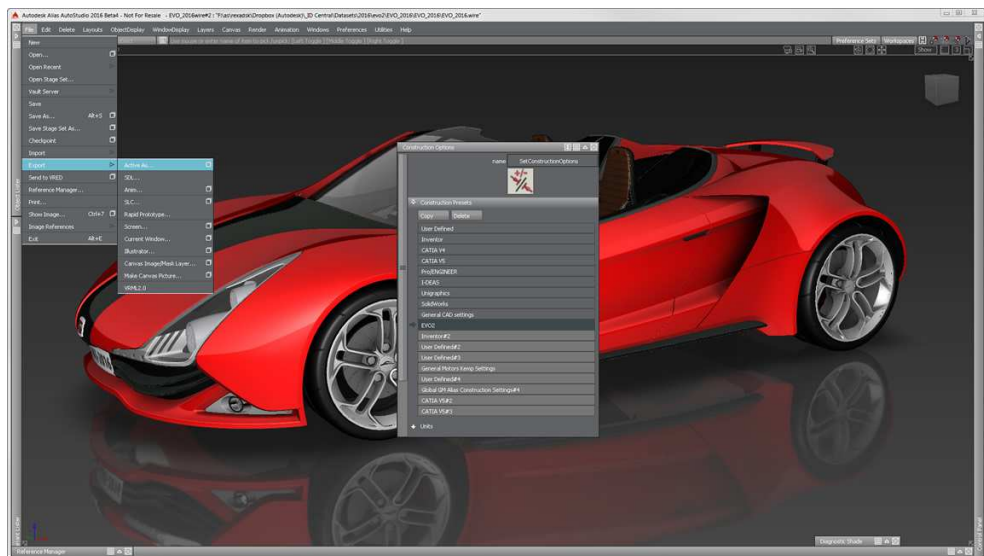


Fig 14 Assieme renderizzato in Alias Studio, Autodesk (2018)

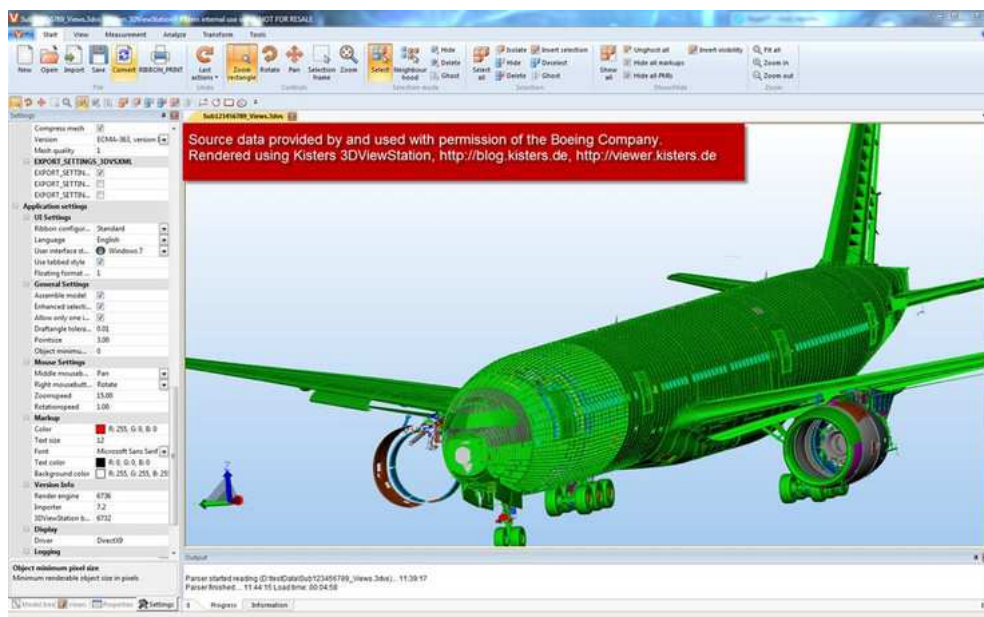


Fig 15 Assieme Boeing 777

Esiste anche un altro approccio per ottenere un prototipo geometrico, diversamente dalle modalità espresse sopra, il così detto reverse engineering (RE). RE è il processo di estrazione delle informazioni di progettazione da una parte esistente, per la quale tali informazioni non sono disponibili [92]. Esso consente alle persone di ricostruire un modello digitale geometrico attraverso la scansione a contatto o meno del prodotto esistente. Fig 16 mostra una persona che utilizza apparecchiature adatte a eseguire la scansione di un'auto e ottenere un modello geometrico.



Fig 16 Scansione di un'auto in reverse engineering

Oltre alla capacità di costruire un modello virtuale 3D, la maggior parte dei software di modellazione 3D ha funzioni per testare e analizzare i prototipi virtuali. Ad esempio, Pro / Engineer ha una funzionalità chiamata "analisi del modello" che consente agli utenti di eseguire tre tipi diversi di valutazione dei modelli: modellazione comportamentale, controllo dei modelli e modifica di progettazione. Inoltre, esistono altre tecnologie utilizzate nell'industria per la sperimentazione e l'analisi di prototipi virtuali, come la dinamica del fluido di calcolo (CFD) e l'analisi degli elementi finiti (FEA). CFD viene utilizzato per prevedere ciò che accadrà, quando i flussi fluidi, spesso con la complicazione del flusso simultaneo di calore, di trasferimento di massa, di movimenti meccanici e così via [93]. Inoltre, sulla base degli obiettivi e delle finalità di modellazione, Zorriassatine et al [94] identificarono cinque grandi classi di metodi di prototipazione virtuale. Queste classi sono costituite da prototipi per:

- Visualizzazione
- Assemblaggio e interferenza di gruppi meccanici
- Test e verifica delle funzioni e delle prestazioni
- Valutazione della produzione e del montaggio
- Analisi del fattore umano

3.7 VANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE FISICA E SVANTAGGI DELLA PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

Le tecnologie di prototipazione fisica hanno una lunga storia nel contribuire alla progettazione e alla produzione. Fig 17 mostra l'utilizzo di prototipi fisici nel processo di sviluppo del prodotto. Oggi, anche se la prototipazione virtuale ha sostituito prototipi fisici in molti aspetti, la prototipazione fisica è ancora vantaggiosa e insostituibile in alcune circostanze. Innanzitutto, prototipi fisici sono vantaggiosi per facilitare la comunicazione. Vandeveldet al(95) hanno affermato che perché i prototipi fisici portano le loro informazioni in modo accessibile e universale, contribuiscono a rendere più trasparenti alcuni aspetti del disegno e per evitare malintesi. Chua [87] ha anche affermato che come un vero e proprio oggetto tridimensionale del mondo reale, un prototipo fisico è in grado di dare al progettista un senso di stima delle dimensioni.

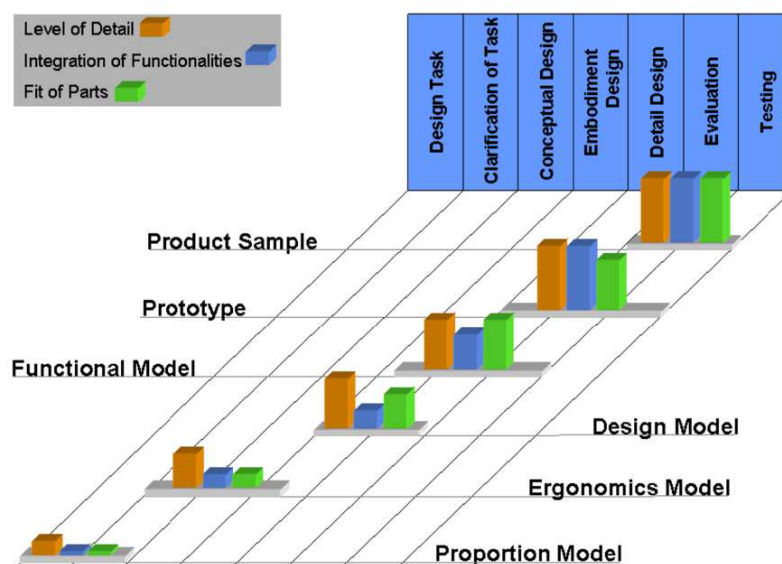


Fig 17 Uso del modello fisico nello sviluppo di un processo (Anderl)

La valutazione di un oggetto virtuale può essere errata perché le parti vengono spesso dimensionate automaticamente per adattarsi alla finestra di visualizzazione. Inoltre, la rappresentazione tattile, che è uno dei caratteri unici dei prototipi fisici, rende molto più semplice la comprensione di un prodotto o di un prototipo che non solo una simulazione visiva di un prodotto. Anderl [96] afferma che la percezione umana degli oggetti preferisce gli oggetti fisici, a causa della sensazione naturale. Pertanto le presentazioni fisiche sono date

una priorità più alta dal progettista. Inoltre, Wallentin [97] ha suggerito che la creazione di un prototipo fisico costituisca una buona opportunità per riunire i membri del team e discutere il progetto. In secondo luogo, la prototipazione fisica è più vantaggiosa della prototipazione virtuale in alcune valutazioni dei prodotti, come la fisica e le problematiche ergonomiche di un prodotto. Come una simulazione di un oggetto reale, un prototipo virtuale nasconde solitamente molti aspetti di come effettua un prodotto, ad esempio la flessibilità del materiale utilizzato su un prototipo. Per capire bene la fisica di un prodotto, sarebbe preferibile un prototipo fisico [78]. Inoltre, rispetto ai prototipi virtuali, i prototipi fisici sono tangibili. Pertanto, è più vantaggioso nel test di ergonomia con gli utenti. Come suggerito da Otto e Wood [78], la costruzione fisica e l'analisi del prototipo sono un aspetto critico della realizzazione del prodotto quando si devono dimostrare gli effetti ergonomici. Grimm [98] ha affermato inoltre che senza un vasto miglioramento dei dispositivi aptici, il prototipo virtuale sarà un precoce predittore della misura di una presa a pistola o dell'equilibrio di un utensile di potenza palmare. Nella valutazione dei prodotti, i clienti spesso giudicano la qualità di un prodotto per la sua sensazione, il suono di una chiusura delle porte o la struttura del suo rivestimento. Queste sono le cose che i prototipi virtuali non trasmettono. Inoltre, anche se sembra universalmente accettato che la prototipazione virtuale abbia migliori prestazioni rispetto al tempo e al costo, ci sono ancora alcuni casi in cui la prototipazione fisica è più efficiente. Le ragioni sono che la prototipazione virtuale richiede hardware costoso e software associato e il tempo di apprendimento è relativamente lungo. In generale, nella modellazione e nella sperimentazione di un prodotto con una struttura semplice, la soluzione protettiva è la soluzione prototipazione fisica. Jennings e Bourne [99] hanno affermato che per i prodotti meno complessi possono essere prototipati in modo fisico. Nel complesso, i prototipi fisici e la prototipazione sarebbero le soluzioni preferite in molte attività di progettazione e valutazione. Probabilmente che la prototipazione virtuale sostituirà completamente la prototipazione fisica non è probabile che si realizzi, almeno nella nostra vita [98].

3.8 VANTAGGI DI PROTOTIPAZIONE VIRTUALE E SVANTAGGI DI PROTOTIPAZIONE FISICA

L'importanza della prototipazione virtuale è associata alle tendenze attuali nel processo di sviluppo del nuovo prodotto. Nel processo di progettazione dei prodotti di oggi, la pianificazione della produzione e la gestione, la commercializzazione e l'assistenza clienti vengono eseguiti sempre più con l'ausilio di strumenti informatici, nonché la maggior parte dei dati di prodotto digitalizzati e gestiti. In questo contesto, i ruoli delle tecnologie di prototipazione virtuale e di simulazione stanno diventando sempre più importanti [100].

Una delle ragioni principali che i progettisti e i produttori utilizzano prototipazione virtuale ampiamente è il suo contributo significativo nella riduzione dei tempi e dei costi del ciclo di sviluppo del prodotto. Come ha affermato Lin et al (101), come domanda di fast-to-market e di riduzione dei costi, la prototipazione virtuale diventa sempre più importante per soddisfare i tempi e gli obiettivi di performance. In particolare per i modelli di modelli precoci, dove i cambiamenti sono veloci e frequenti, la prototipazione virtuale può essere la più pratica ed

efficace [98]. È invece ben noto che la prototipazione fisica è un compito che richiede tempo e richiede molto costi [102, 94].

Le capacità di prototipazione virtuale nella riduzione del tempo e del costo sono legate a caratteristiche che non hanno prototipi fisici. Lo sviluppo del prodotto è un processo iterativo in cui i prototipi devono essere costruiti, modificati e ricostruiti più volte. A questo proposito, la prototipazione virtuale fornisce un processo di disegno iterativo molto rapido [87]. Le modifiche al prototipo virtuale, che sono con un formato digitale, sono solitamente compiti semplici. operatori

basta modificare il modello CAD in breve tempo e generare una nuova griglia FEA o CFD. Questo può essere fatto a costi relativamente contenuti. Tuttavia, i cambiamenti iterativi ai prototipi fisici spesso richiedono un tempo molto più lungo e aumenterebbero il costo dei materiali e degli strumenti.

Oltre ai punti di forza del tempo e della riduzione dei costi, la prototipazione virtuale è vantaggiosa anche in molti altri domini. Per esempio, la prototipazione virtuale ha mostrato grandi punti di forza nell'analizzare lo stress complesso, le proprietà termiche, il flusso di fluido, ecc., Utilizzando tecniche numeriche come l'analisi di elementi finiti [76,94]. Inoltre, la prototipazione virtuale è molto utile quando i progettisti sono geograficamente distribuiti, poiché i prototipi possono essere condivisi su internet per la valutazione sincrona e le sessioni di progettazione [103].

Nel complesso, la prototipazione virtuale permetterà ai progettisti di sviluppare pienamente le loro creazioni e di elaborare i dettagli di progettazione prima di andare avanti con lo sviluppo di un prototipo fisico o di archiviazione per la protezione del brevetto [104]. Anche se il costo del software e degli hardware associati è elevato e il tempo di apprendimento per impiegarli è lunga, è ampiamente accettato che la prototipazione virtuale è un approccio più conveniente e veloce rispetto alla prototipazione fisica, dalla prospettiva dell'intero ciclo di sviluppo del prodotto.

	PROTOTIPO VIRTUALE	PROTOTIPO FISICO
COSTO	•	
TEMPO	•	
CAPACITÀ DI ITERAZIONE	•	
VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA	•	•
ESTETICA	•	
TATTILITÀ		•
ANALISI DINAMICA	•	
PRODOTTO COMPLESSO	•	
PRODOTTO CON STRUTTURA SEMPLICE		•
TEST DI FUNZIONALITÀ		•
COMUNICAZIONE		•

Tab 7 Comparazione tra prototipo virtuale e prototipo fisico

3.9 PANORAMICA DELLE ATTUALI TECNOLOGIE DI INTEGRAZIONE

Come indicato nella sezione precedente, la prototipazione fisica e virtuale presenta i propri vantaggi e svantaggi nella valutazione degli utenti o nel risparmio di costi e tempi. Per ottimizzare l'applicazione di questi due tipi di tecnologie di prototipazione, è fondamentale integrarli. Come ha affermato Jain [105], l'integrazione di prototipi fisici e virtuali avrebbe prodotto cicli di sviluppo più brevi, meno errori in fase avanzata e un ritorno più elevato sulla proprietà intellettuale, come la progettazione, la simulazione e la verifica dei dati. Ad esempio, dato che la prototipazione virtuale può fornire un'elevata precisione nelle dimensioni, mentre il prototipo fisico è utile per la valutazione dell'ergonomia, il progettista potrebbe prima costruire un modello CAD e quindi utilizzare Rapid Prototyping per produrre un prototipo fisico per test e sviluppo ergonomici.

Secondo il dizionario Longman [67], l'integrazione significa "combinare due o più cose in modo che lavorino in modo efficace". Infatti, l'idea dell'integrazione dei prototipi fisici e virtuali non è nuova e diversa

mezzi di integrazione sono stati ampiamente applicati. In un ampio senso, quando il modello fisico e il modello 3D CAD di un prodotto vengono mostrati agli utenti o ai client contemporaneamente, i prototipi fisici e virtuali sono stati utilizzati in modo integrato. Inoltre, quando un prototipo fisico è costruito in base a uno virtuale o virtuale, viene fatta usando dati prelevati da uno fisico, allora anche la prototipazione fisica e virtuale vengono integrati.

In questa sezione, l'inchiesta si concentrerà sulle attuali tecnologie legate all'integrazione di prototipi virtuali e prototipazione fisica. Queste tecnologie si riferiscono alla conversione da una prototipazione virtuale alla prototipazione fisica, come la lavorazione CNC (Computerized Numerical Control), Rapid Prototyping (RP) ecc .; o l'opposto, come le tecnologie Reverse Engineering (RE). Inoltre, alcuni ricercatori stanno sviluppando e hanno sviluppato alcuni metodi per convertire fra fisico e virtuale in modo bidirezionale, in una certa misura, vale a dire che le modifiche al prototipo fisico possono fisicamente dare un feedback all'utente o causare una modifica al prototipo virtuale e vice versa.

Le tecnologie di integrazione del prototipo (come CNC, RP e RE) hanno fatto uso di avanzamenti sia hardware che software. Tali combinazioni hanno aumentato notevolmente le fasi di prototipazione nello sviluppo del prodotto, dimostrando quindi la necessità di integrare PP e VP. Tuttavia, poiché la maggior parte di queste tecnologie sono state sviluppate nel contesto di esigenze di ingegneria, i problemi che i progettisti industriali devono affrontare applicandoli sono inevitabili. Inoltre, essi hanno anche mostrato alcuni problemi ad esempio il tempo necessari e gli investimenti costosi in termini di attrezzature e materiali.

3.10 CENNI DI PROTOTIPAZIONE PARAMETRICA

Una descrizione dettagliata di questa tecnologia si può vedere nell'articolo "Prototipazione avanzata con prototipi parametrici" presentata da Anderl et al [96]. Qui è solo un riassunto. Anderl ha definito il prototipo parametrico come "l'insieme di un modello fisico e un modello

virtuale che sono collegati da un'interfaccia". Questa tecnologia di prototipazione assume la forma di un prototipo fisico, che è stato diviso in più parti. Ogni parte fisica separata si collega con una corrispondente parte virtuale in un attraverso un'interfaccia hardware. Le modifiche alla parte virtuale possono essere convertite nel corrispondente fisico tramite componenti elettrici, meccanici e di controllo. Le modifiche alla parte fisica possono essere convertite nella corrispondente parte virtuale attraverso l'interfaccia nel computer. La ragione per sviluppare questa tecnologia è basata sulla realtà che in un nuovo processo di sviluppo, i prototipi virtuali e fisici saranno convertiti iterativamente tra di loro che richiederanno troppo tempo.

Rispetto ad altre tecnologie di integrazione, il vantaggio più importante di questa tecnologia è il raggiungimento della conversione bidirezionale [96]. Tuttavia, lo scopo di questo sistema è limitato alla valutazione e allo sviluppo dello stile preliminare di forma esterna del design dell'auto nelle fasi concettuali del processo di sviluppo del prodotto. Altri elementi che di solito sono importanti anche per la valutazione degli utenti, come l'ergonomia, il colore e il materiale, non sono considerati in questa ricerca. Inoltre, all'interno di questo sistema, una specifica interfaccia grafica utente è stata programmata e sviluppata dai ricercatori. Poiché questa interfaccia è specifica per l'industria automobilistica e non è familiare agli studenti di design industriale e ai progettisti industriali in altri settori, oltre ai costi del sistema, sarà difficile diventare uno strumento flessibile per la maggior parte dei progettisti industriali in diverse situazioni di progettazione.

CAPITOLO 4

PROPOSTE DI MODELLI DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE NELL'INTERO CICLO VITA PRODOTTO

4.1 INTRODUZIONE

Syan [106] definisce l'ingegneria concorrente come: "L'ingegneria concorrente è un approccio sistematico alla progettazione integrata e concorrente dei prodotti e dei relativi processi, tra cui la produzione e lo sviluppo. Questo approccio ha lo scopo di far sì che gli sviluppatori, fin dall'inizio, possano considerare tutti gli elementi del ciclo di vita del prodotto dal concetto attraverso lo smaltimento, inclusi i requisiti di qualità e costo". Da questa definizione emerge che il team di sviluppo in un ambiente concorrente di ingegneria ha contribuito a stabilire un grado di "chiaroveggenza" nell'analisi dei problemi che il prodotto possa incontrare durante le varie fasi dello sviluppo del prodotto, aiutato dalla conoscenza di processi di sviluppo e di strumenti come ottimizzazione o teoria dei grafici. L'obiettivo è quello di alleviare questi problemi in una fase iniziale dello sviluppo, adottando opportune decisioni di sviluppo. Magrab [107] presenta una serie di tecniche secondo la metodologia IP2D2 che potrebbe anche essere applicata per facilitare l'ingegneria concorrente verso un miglior sviluppo del prodotto.

I vantaggi dell'ingegneria concorrente [108] sono numerosi e diffusi in tutto il ciclo di sviluppo del prodotto, inclusi, ma non limitati, le riduzioni di tempo sul mercato, la riduzione dei cambi di progettazione e l'iterazione di progettazione, i miglioramenti nella produzione, assemblaggio, manutenzione, riciclabilità e qualità dei prodotti. Hauptman e Hirji [109] analizzano l'applicabilità dell'ingegneria concorrente allo sviluppo del prodotto in grande dettaglio sulla base dello studio di una moltitudine di progetti di sviluppo di prodotti che utilizzano team concorrenti cross-functional.

Una delle metodologie per raggiungere questa concorrenza nell'ingegneria del prodotto e del processo [110, 111] si basa sulla formulazione di un problema di ottimizzazione con vincoli tratti da vari aspetti del ciclo di vita del prodotto. Tan et al. [112, 113] suggeriscono un modello che riunisce diverse fasi del processo di sviluppo del prodotto utilizzando un framework agente intelligente. L'approccio inizia dalla rappresentazione dei requisiti dei clienti e genera iterativamente i disegni finali basati sulla valutazione dei costi dei disegni iniziali. I disegni iniziali vengono forniti al sistema e l'insieme dei vincoli tra il prodotto e i sistemi esterni non cambiano durante le iterazioni. Il sistema si propone di creare un progetto finale tenendo in considerazione la maggior parte degli aspetti del processo di sviluppo del prodotto. Tutto lo scambio di informazioni si verifica tra gli agenti che gestiscono diverse fasi della vita di sviluppo come agente di pianificazione del processo, agente di simulazione,

agente di progettazione e agente di critica. Cutkosky e Tenenbaum [114] presentano un sistema basato su un'architettura simile. La loro carta fornisce dettagli sull'architettura del sistema, sulle rappresentazioni e sul design del modulo software. La figura 2.3 rappresenta il quadro generale proposto. Brookes et al. [115] elenca alcuni studi di caso per l'implementazione della metodologia di ingegneria concorrente.

I moduli di ottimizzazione sviluppati per trovare il miglior design del prodotto tendono ad utilizzare il costo del prodotto [116, 117, 118, 119, 120] come funzione oggettiva. Soundar e Bao [119] suggeriscono una formulazione per il problema del costo come obiettivo e dei vincoli basati su 1. gli attributi critici di design come finitura superficiale e peso

2. gli attributi di performance critici del sistema di produzione come WIP e tempo di coda e formulare una funzione di utilità per trovare una soluzione ottimale. Wei e Egbelu [120] propongono algoritmi per modellare i vari costi di produzione. Una volta che questi sono decisi, la selezione della sequenza di produzione dei costi minimi viene modellata come un problema di misto, minimizzando la somma dei costi come parametri di obiettivo e di funzionamento come vincoli. L'obiettivo è ridurre al minimo i costi pur conservando la funzionalità del prodotto.

Ball et al. [110] prendere un approccio un po' diverso per formulare il problema di ottimizzazione. Propongono che il costo sia trattato come una variabile indipendente. Pertanto ora il costo può essere utilizzato come un vincolo in sostituzione di un obiettivo adottato dagli approcci precedenti. Spesso il problema di progettazione è suddiviso in sottogruppi costituenti e ottimizzazione con i costi in quanto l'obiettivo viene eseguito su singoli sottogruppi. Lo svantaggio di questo metodo è che, sebbene il costo possa essere minimizzato per il sottogruppo locale, nello scenario globale il costo non sempre può essere minimo. Utilizzando il costo come un vincolo e risolvendo il problema complessivo basato sull'analisi del tradeoff, assicura che il costo rimanga costantemente sotto il valore specificato. Tuttavia, è importante ricordare che in questo caso la decisione di restrizione dei costi è una prerogativa del designer e che deve essere fornita con conoscenza adeguata per contribuire a prendere una decisione ben consigliata. Quindi il problema è un problema di sconnessione tra i costi e / o il tempo coinvolti nella realizzazione del prodotto e delle prestazioni del prodotto. Con la formulazione dell'ottimizzazione si spera che i costi e il tempo coinvolti nei problemi post-design possano essere ottimizzati rispetto ad un costo e alle prestazioni di progetto leggermente aumentati.

4.2 LEAN COST

La stima dei costi di fabbricazione e la previsione nelle fasi di progettazione anticipata è uno dei principali aspetti importanti della competitività aziendale [121], poiché consente al reparto vendite di produrre rapidamente stime per attirare clienti e progettisti per confrontare rapidamente diverse soluzioni tecniche e prendere decisioni. Tuttavia, la stima dei costi di produzione è complessa a causa dell'enorme quantità di informazioni che influenzano il risultato, come il processo produttivo, i parametri correlati, le materie prime, la dimensione del lotto di produzione ecc. Inoltre, nella fase iniziale di progettazione, smaltimento solo di un modello preliminare 3D CAD e scarsi dati sulla produzione. Ciò genera errori e numerose iterazioni tra progettazione e produzione. Un miglioramento consistente può essere raggiunto

se le conoscenze di produzione sono condivise in tutta l'azienda e utilizzate come uno dei driver del design dei prodotti.

In questo contesto, un obiettivo impegnativo perseguito nei precedenti lavori di ricerca [122, 123] è quello di sviluppare uno strumento basato sulla conoscenza (LeanCOST), in grado di analizzare le informazioni di progettazione del prodotto contenute in un modello e mappa CAD basati sulle funzionalità con le caratteristiche tecnologiche e i relativi parametri per ottenere automaticamente la stima di tutti i costi di produzione. Ciò può essere ottenuto grazie

a) la struttura del modello CAD a base di funzionalità 3D che contiene le caratteristiche geometriche dei componenti e degli assiemi e dei dati non geometrici quali rugosità, tolleranze, materiali, ecc .;

b) la raccolta di informazioni sui cicli di produzione, sulle singole operazioni e sui parametri, sulle materie prime e sui semilavorati, sui costi unitari, ecc .; e c) la formalizzazione delle conoscenze dei processi produttivi nelle regole raccolte in una base di conoscenze. Le operazioni di produzione vengono automaticamente collegate alle caratteristiche di progettazione e il sistema genera la stima dei costi.

Nonostante le promesse nell'adozione di tale strumento, alcune questioni restano ancora aperte. Esse principalmente riguardano il modo di utilizzare lo strumento in un vero e proprio ciclo di sviluppo del prodotto, la procedura per realizzare una rappresentazione modulare di un modello CAD basato su funzionalità preliminare che contiene la maggior parte delle variabili e dei vincoli di progettazione per creare una stima prima che il progetto di realizzazione comincia e, infine, la personalizzazione delle conoscenze di produzione secondo un contesto industriale specifico. Il presente documento cerca di dare una risposta a questi problemi applicando lo strumento sviluppato in un vero e proprio caso industriale offerto da una società di medie dimensioni che produce valvole a sfera e definendo una metodologia per l'implementazione di LeanCOST e la creazione di modelli CAD per ottenere un costo preciso stima.

Andiamo a descrivere dettagliatamente la metodologia per implementare lo strumento, l'approccio per creare un modello di prodotto configurabile per valutare facilmente i costi la fase di progettazione, le strategie / regole implementate per personalizzare la base di conoscenze di produzione e, infine, le metriche adottate per valutare non solo le prestazioni dello strumento (ad esempio usabilità e affidabilità) ma soprattutto le prestazioni del processo (ad esempio efficienza). L'applicazione della metodologia proposta e la personalizzazione di LeanCOST hanno permesso alla società di ottenere una riduzione del tempo di modifica del progetto di circa il 20%, una precisione della stima di circa il 4% rispetto al costo finale del prodotto e, infine, una più snella elaborazione dell'offerta da inviare a un cliente.

4.2.1 METODOLOGIE DI DESIGN TO COST

Le metodologie di "Design for Cost" (DfC) sono state studiate e formalizzate dal 1985 [124]. L'affermazione comune a tutte le ricerche in questo campo può essere ripresa nel modo seguente: studiare e sviluppare metodi e strumenti che consentano al progettista di calcolare i costi nella fase iniziale di progettazione, gestendo la conoscenza dei processi produttivi e,

di conseguenza, i costi sostenuti in esso [125]. Molti sistemi CAPP (Computer Aided Process Planning) sono stati sviluppati negli ultimi anni ma sono troppo complessi per essere utilizzati nella fase di progettazione in quanto richiedono molte informazioni al di là delle caratteristiche del prodotto e non sono generalmente disponibili durante il primo fasi del processo di progettazione. Un gran numero di approcci e metodi per la stima dei costi sono stati presentati in letteratura [126,127,128]. Secondo Weusting et al. [129] la stima dei costi può essere suddivisa in due metodologie di base: stima del costo generativo e stima dei costi basati sulla variante. Nel primo caso, la stima si basa sulla decomposizione dei costi relativi ai processi di produzione attesi. Nel secondo caso, l'analisi di simili prodotti passati consente la valutazione di nuovi. Il costo basato sulle funzioni [130] è considerato un compromesso ottimale tra di essi. Infatti, le funzionalità possono essere utilizzate per descrivere le informazioni geometriche del prodotto a diversi livelli di dettaglio e possono essere utilizzati per raccogliere tutte le informazioni funzionali e tecnologiche (tolleranze, finitura superficiale, ciclo produttivo, ecc.). Tuttavia, le funzionalità definite in un prodotto precedente possono essere riutilizzate per le nuove soluzioni che ereditano tutte le informazioni di processo. I sistemi di modellazione CAD 3D basati sulle funzionalità parametrici possono fornire il supporto pratico per gestire le informazioni sui costi insieme alla definizione funzionale del prodotto e alla sua rappresentazione virtuale. Diverse applicazioni basate sulle funzionalità basate sulle funzionalità di costo sono riportate in letteratura scientifica [131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140]. Nonostante i miglioramenti sopra elencati in questo campo di ricerca, la panoramica della letteratura sottolinea che non è disponibile un sostegno informatico adeguato per la stima dei costi in grado di prendere in considerazione innanzitutto tutte le operazioni di produzione, quindi di personalizzare facilmente i parametri di processo e le regole di costo, essere applicato in contesti industriali reali per ottenere vantaggi concreti.

Al fine di superare le limitazioni di cui sopra, è stata condotta una ricerca a lungo termine in collaborazione con una serie di piccole e medie imprese italiane al fine di creare un robusto sistema KB in grado di stimare i costi da modelli CAD a base di funzionalità, che si chiama LeanCOST. I precedenti lavori di ricerca descrivono la struttura del sistema, il quadro tecnologico sviluppato, il metodo adottato per raccogliere informazioni e condividere le conoscenze sui costi in tutto il processo, gli algoritmi di riconoscimento delle funzionalità sviluppati e il modo di mappare le caratteristiche di modellazione con quelle di produzione. Per fornire solo un riepilogo dei risultati precedenti, viene riportata una descrizione dei seguenti moduli software LeanCOST.

- Il modulo di interfaccia CAD analizza il modello CAD e le relative informazioni non geometriche per identificare le avanzate funzionalità di produzione. Questo modulo è collegato al sistema CAD per eseguire un'analisi topologica di tutte le entità geometriche (facce, anelli e bordi), dimensioni, finiture, tolleranze e proprietà fisiche (massa e densità) e per identificare le caratteristiche CAD di modellazione adottate.
- Il modulo di allocazione dei processi converte l'insieme delle funzioni di produzione e di modellazione identificate in un insieme di operazioni per determinare il processo di fabbricazione e i relativi parametri per realizzare ogni componente.

- Il calcolatore calcola automaticamente il tempo di produzione utilizzando le funzioni correttive di calcolo relative ai diversi processi e la traduce in costo.
- Il modulo di report gestisce tutti i dati calcolati e li filtra secondo le esigenze dell'utente. Una tipica sessione di lavoro di stima dei costi supportata da LeanCOST implica alcune fasi come segue. Il progettista lavora sul progetto per ogni modello di prodotto (componente o assemblaggio) e crea un modello CAD. Utilizza il sistema per creare una stima del costo del prodotto che lo supporta nella scelta della soluzione migliore tra quelle alternative. Il rapporto di costo creato viene memorizzato in un database condiviso da utilizzare dal tecnico per specificare il processo di produzione e i relativi costi. LeanCOST è in grado di tracciare la comunicazione tra i reparti di progettazione e di processo. Quando questo processo iterativo è completato il progetto viene rilasciato e pronto per essere inviato al reparto acquisti, per la selezione dei fornitori.

4.2.2 METODO

Durante un processo generico di sviluppo del prodotto, sono coinvolti principalmente tre reparti aziendali. In primo luogo, il reparto di progettazione del prodotto in cui il costo del prodotto viene creato adottando specifiche soluzioni tecniche. In secondo luogo, il reparto di ingegneria di prodotto dove è studiata la fattibilità del prodotto, l'ingegnerizzazione, vengono definite le fasi di produzione e, quindi, viene calcolato il costo dettagliato. Infine, il reparto acquisti che interagisce con la catena di approvvigionamento per stabilire prezzi e scegliere i migliori fornitori [141].

Gli ingegneri di questi tre reparti interagiscono con i costi del prodotto da diversi punti di vista. Prodotto i progettisti devono capire l'incidenza di una singola funzionalità di costo sul costo totale di produzione senza una specifica competenza sulle operazioni di fabbricazione durante la fase di progettazione. Gli ingegneri del prodotto (o tecnologi di produzione) posseggono le conoscenze specifiche sulle attività produttive necessario per determinare il costo dettagliato. L'ufficio acquisti è interessato al costo calcolato dal reparto sviluppo prodotto, al fine di selezionare il fornitore per ogni componente. L'approccio proposto deriva dal concetto che i dipartimenti di cui sopra si basano sulla loro attività modello di costo condiviso e uno strumento di stima dei costi correlati. Questa idea porta alla formalizzazione del processo di costo, attraverso uno specifico software di stima dei costi, in grado di lavorare su un modello di costo dettagliato definito dagli utenti (progettisti, tecnici di produzione e acquirenti) utilizzando interfacce personalizzate. Tale software è un passo al di là dei sistemi correntemente utilizzati all'interno delle aziende per valutare i costi di produzione. In questo modo si evitano problemi a causa di una scarsa consapevolezza dei progettisti al problema dei costi, spostandosi verso gli ingegneri del prodotto tutte le attività di valutazione dei costi. Tale situazione implica errori e, di conseguenza, iterazioni numerose e che richiedono molto tempo. L'approccio è schematizzato nella figura 18, [141] dove un unico strumento di stima del costo del software viene utilizzato nelle tre fasi principali. Questo lavoro mira a superare problema sviluppando uno strumento software dedicato al dipartimento di progettazione, ma anche fornendo una vista specifica del modello di costo del prodotto per le altre due tipologie di utenti (figura 1). Una condivisa la base di conoscenze di produzione viene utilizzata come elemento chiave per definire questo framework multilivello [141].

- Costo di lavorazione: il tempo durante il quale la macchina opera il pezzo, moltiplicato per macchina unitaria costo;
- Costo: il peso delle scorte richiesto per la produzione del prodotto finale moltiplicato per costo unitario di stock;
- Costo accessori: il tempo durante il quale la macchina non funziona il pezzo, perché, ad esempio, è utensile o pezzo che cambia, moltiplicato per costo macchina unitario;
- Costruzione macchina: il tempo durante il quale la macchina svolge attività all'inizio di a come la prova del programma CNC, la creazione di utensili, ecc., moltiplicata per macchina unitaria

La conoscenza del progettista del prodotto è stata strutturata per supportare l'analisi del design dei prodotti informazioni e tradurlo nelle operazioni di produzione e, di conseguenza, nel costo di produzione. Le tecnologie di produzione sono state analizzate e divise in classi come segue: lavorazione, carpenteria meccanica, pittura, trattamenti termici, rivestimento superficiale, leghe metalliche stampaggio e stampaggio di plastica. Le classi sono state ulteriormente divise in categorie, ad esempio la classe di lavorazione è stata suddivisa in fresatura, tornitura, rettifica, taglio di ingranaggi, sbavatura e scanalatura. All'interno di queste categorie sono state definite le operazioni, ad esempio le operazioni tipiche per la fresatura a faccia, esecuzione di slot, ecc. I parametri geometrici sono stati così determinati caratterizzano in modo univoco le operazioni. Ad esempio l'operazione di fresatura a faccia è caratterizzata da lunghezza, larghezza, profondità, tolleranza geometrica (planarità) e rugosità [141].

Nella base di conoscenza proposta, l'operazione è il livello più importante di aggregazione dei dati. Le operazioni sono state univocamente mappate con un set specifico di informazioni geometriche e non geometriche che sono state associate a funzionalità di produzione. In questo modo il modello può essere rappresentato come una collezione di features di produzione. Il riconoscimento di queste caratteristiche sul modello di prodotto consente di stabilire le operazioni e le loro operazioni sequenza. Più in dettaglio le caratteristiche produttive avanzate sono una serie di elementi geometrici (facce e assi) convenientemente disposti in una forma topologica riconoscibile con specifici vincoli dimensionali e con specifiche informazioni di fabbricazione (tolleranza e rugosità). Queste informazioni determinano a gruppo che può essere associato ad una specifica operazione. Sono state definite caratteristiche produttive perché non è sempre possibile collegare features di modellazione CAD ad operazioni di lavorazione. In molti casi, infatti, per produrre una caratteristica potrebbe essere necessaria più di un'operazione, altrimenti altre funzioni potrebbero essere lavorate con un'unica operazione. Questo problema è tipico per il chip che formano la lavorazione, dove si possono adottare modi diversi per realizzare un componente. In altri casi le semplici funzionalità di modellazione CAD possono essere direttamente collegate all'operazione; per esempio la definizione del foro filo come rappresentata nella struttura dei dati del modello CAD è sufficiente per determinare operazione corrispondente. Il secondo livello di conoscenza è orientato alla determinazione del costo di produzione, a partire dalle operazioni con i loro parametri geometrici. Questo livello si basa sulla definizione di algoritmi che l'ingegnere del prodotto utilizza per determinare tutti i parametri tecnologici necessari per il costo processo di stima. Questi algoritmi necessitano di un gran

numero di dati (costo delle materie prime, tempo di attrezzatura standard, ecc ...) e le relazioni (velocità di taglio del materiale, materiale, - velocità di alimentazione utensile, velocità di saldatura dimensioni-materiale, ecc ...) che possono essere memorizzati in un database tecnologico. I valori vengono estratti dal database sono elaborate da formule specifiche utilizzate per calcolare i parametri di stima e il costo finale del componente. Le formule tipiche, all'interno delle macchine di lavorazione dei metalli, sono quelle utilizzate per il calcolo delle lunghezze degli utensili, dell'orario di lavoro, del costo, ecc.

Per capire come l'approccio proposto sia in grado di stimare un costo di produzione semplice viene riportato un esempio. Interessa la funzionalità avanzata di produzione della fessura cilindrica esterna (fig 19).

La struttura dei dati del modello CAD 3D viene analizzata e gli algoritmi corretti confrontano la definizione di caratteristica di slot cilindrica esterna con il modello geometrico per riconoscerla con la sua geometria parametri.

Una volta identificata la geometria è possibile determinare tutte le attività necessarie per lo slot esecuzione. In questo caso, utilizzando una regola basata sul valore di rugosità può essere scelto il necessario attività e macchine utensili per la lavorazione:

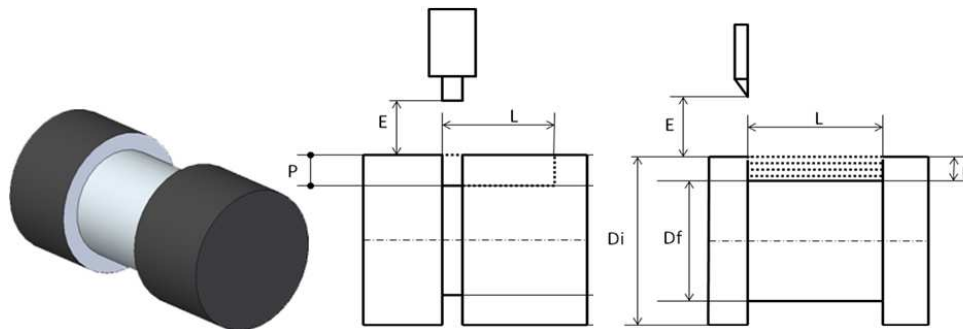


Fig 19 Esempio di tornitura cilindrica

4.2.3 SISTEMA DI STIMA DEI COSTI DI PRODUZIONE

L'approccio è stato implementato in uno strumento software chiamato "LeanCost" [141]. Questo strumento è un'applicazione basata su Windows che attualmente può valutare il costo dei componenti e saldati. In particolare è stato attuato tenendo conto del contesto delle imprese dove sono presenti sistemi di gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM). Il sistema PLM contiene ingegneria dati come modelli CAD, disegni e documenti memorizzati nel database PLM. LeanCost interagisce con il sistema PLM per estrarre i geometri necessari (modelli CAD e disegni CAD) e non geometrici informazioni (materiale e altri metodi come peso, stato, descrizione, ecc.). LeanCost fornisce anche interfacce specifiche con i sistemi PLM (finora è stata gestita solo un'interfaccia), utilizzata anche per sincronizzare i dati tra il

database PLC di LeanCost. Esempi sono rappresentati dai materiali (codice, descrizione, densità, costo unitario, fattore di lavorabilità), fogli metallici (codice, descrizione, stato, materiale, spessore e costo unitario), travi (codice, descrizione, materiale, stato, sezione, tipo e costo unitario) e tabelle di matrici (codice, descrizione, materiale, peso e costo unitario). Dati la sincronizzazione consente a LeanCost di utilizzare dati sempre aggiornati. La struttura comprende anche database specifici su macchine utensili, materiali e parametri di taglio (velocità di taglio, tempo di installazione, ecc.).

L'applicazione LeanCost supporta tre diversi livelli di accesso agli utenti:

- Utente progettista: l'accesso è integrato nell'interfaccia utente del sistema CAD; il sistema esegue automaticamente l'analisi dei costi. Come output esamina un rapporto di costo che mette in evidenza i diversi driver di costo. In questo modo il sistema suggerisce quali fattori dovrebbero essere modificati.
- Utente tecnologico: eredita l'analisi dei costi dalla fase di progettazione; questo utente verifica il produce e analizza vari rapporti per pianificare le attività produttive. Il tecnico l'utente può impostare i parametri del processo e del ciclo di lavoro.
- Utente del reparto di acquisto: questo livello di accesso è limitato ai rapporti sui costi; sono abituati scegliere i fornitori più idonei.

Come mostrato in figura 20 lo strumento LeanCost è composto da quattro moduli principali:

- Modulo di interfaccia CAD: questo modulo, sviluppato con la programmazione di Visual Basic.NET lingua, analizza il modello CAD e le relative informazioni non geometriche al fine di individuare le avanzate funzionalità di produzione. Questo modulo è collegato al sistema PLM (in questo caso Solid Edge.20, da Siemens GmbH). L'estrazione delle informazioni dal CAD il modello è fatto da classi affidabili e funzioni correttamente sviluppate. Eseguono un topologico analisi di tutte le entità geometriche. Il modulo genera come output un insieme ordinato di avanzato le caratteristiche produttive rappresentate attraverso entità geometriche (facce, anelli, bordi) dimensioni, finiture, tolleranze e proprietà fisiche (massa e densità). Questo modulo identifica anche le semplici caratteristiche di modellazione.
- Modulo di assegnazione del processo: l'insieme delle funzioni avanzate di produzione ordinate e semplice le funzionalità di modellazione vengono convertite in un insieme di operazioni utilizzando questo modulo. Poi tutto geometrico e i dati fisici vengono elaborati al fine di determinare ogni processo di fabbricazione. Questo strumento stabilisce i processi necessari per la fabbricazione del componente e propone possibili macchine utensili con i loro parametri di taglio. Questo modulo interagisce con i database esterni che memorizzare utensili, materiali e parametri di taglio.
- Motore di calcolo: un modulo autonomo calcola il tempo di fabbricazione utilizzando correttamente funzioni di calcolo relative ai diversi processi. Poi traduce la produzione tempo nel costo del prodotto.
- Modulo di generazione report: gestisce tutti i dati calcolati e viene elaborato dagli altri strumenti.

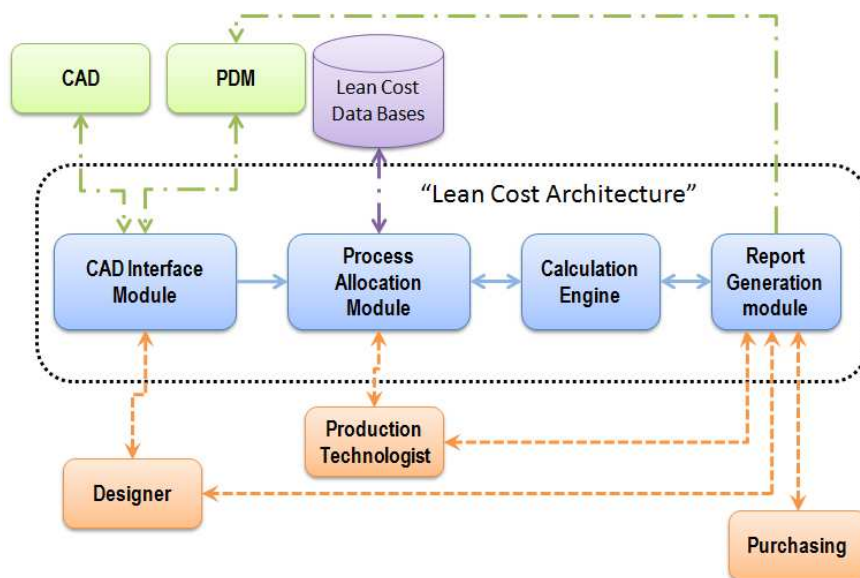


Fig 20 Architettura Lean Cost

Una sessione di lavoro tipica di calcolo dei costi implica le seguenti fasi. Il designer lavora sul progetto per ogni modello di prodotto (componente o assemblaggio). Utilizza il sistema CAD e genera il prodotto stima dei costi utilizzando LeanCost. Analizzando il costo di diverse soluzioni, il progettista può identificare il migliore. L'attività di stima dei costi eseguita dal progettista segue le procedure guidate predefinite (parti asimmetriche, prismatiche, lamiera, fasci e ruote dentate o gruppi), costituiti da un insieme di passi. Sono i seguenti:

- Lettura e verifica del modello: il controllo LeanCost è il modello 3d che ha tutti i requisiti necessari, come materiale, un valore generale di rugosità, un appiattimento valido (in caso di lamiera), ecc fase l'utente controlla questi requisiti e li risolve attraverso il sistema CAD;
- Calcolo delle scorte: gli algoritmi automatici sono in grado di definire la riserva ottimale (magazzino più piccolo come possibile, materiale di montaggio, tipo, sezione e stato). L'utente può scegliere un titolo diverso, anche se il software controlla se la nuova selezione è fattibile;
- Definizione del piazzamento: gli algoritmi automatici sono in grado di calcolare il numero di piazzamenti necessari per le lavorazioni, l'utente può controllarle e modificarle;
- Calcolo delle funzioni di produzione: gli algoritmi di riconoscimento delle funzionalità consentono l'avanzamento calcolo della funzionalità di produzione, lettura geometria 3d. Per ciascuna è definita una tecnologia predefinita (ad esempio un taglio su lamiera può essere fatto usando laser, ossitaglio torcia, punzonatura o nibbling), anche se l'utente può cambiarlo,

secondo la dimensione del lotto, la pianificazione della produzione (nel caso lo sa). Questo passo è fatto di altri sottoprogrammi, al fine di meglio raggruppare funzionalità fattibili per un tipo specifico di componenti. Per esempio, è stato definito per i componenti assialsimmetrici

25 caratteristiche, raggruppate in operazioni cilindriche, frontali, coniche e integrate, più scanalature, scanalature e fori;

- Riepilogo dei costi: un rapporto finale viene presentato all'utente, per mostrare ogni elemento di costo con relativo impatto sul costo totale.

Il progetto creato viene archiviato in un database condiviso, quindi il tecnico può recuperarlo. Questo utente funziona su progetto elaborato dal progettista per perfezionare il costo stimato e modificare, se necessario, il costo di processi specifici. Il costo calcolato con note relative alla fattibilità o ai miglioramenti può essere inviato al progettista (Figura 21)[141]. LeanCost è in grado di tracciare la comunicazione tra progettazione e reparti di ingegneria dei prodotti. Quando questo processo iterativo è completato il progetto è rilasciato. Il progetto rilasciato dal tecnico manifatturiero, quindi, è pronto per essere inviato al reparto d'acquisto, per la selezione del fornitore

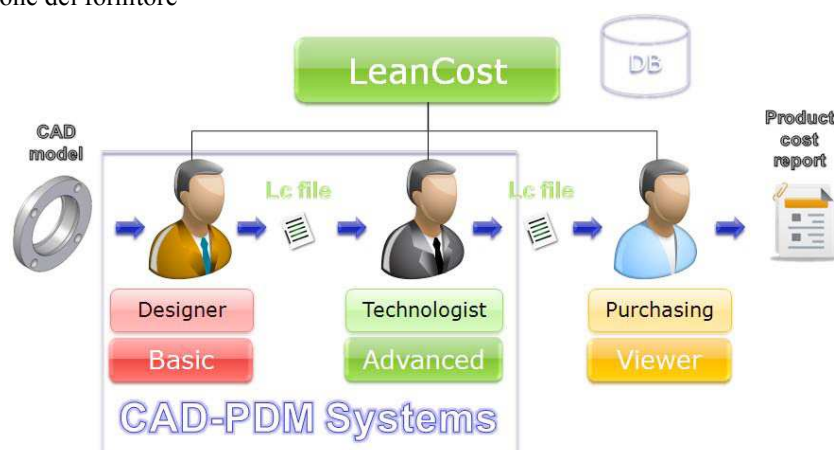


Fig 21 Interfacce Lean Cost per i reparti aziendali

4.2.4 UNA METODOLOGIA PER APPLICARE UNA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE PER IL COSTO

LeanCOST può essere applicato sia per stimare i costi dei componenti e degli assiemi. La metodologia inizia con l'analisi del modello 3D di ciascun componente per riconoscere le principali caratteristiche geometriche e non geometriche. Grazie alla base di conoscenze, è in grado di rilevare la migliore materia prima o semilavorati per ogni componente necessario per ottenere il pezzo finito e il set di operazioni per produrre il prodotto complessivo. Una

volta mappati tutti i dati di modellazione e produzione, il sistema calcola il costo dei materiali, delle operazioni, del set-up e degli accessori.

Si propone una metodologia strutturata e ripetitiva per applicare una strategia "Design for Costing" basata sull'utilizzo del sistema lungo il ciclo PD, dalla definizione di un'offerta, alla progettazione dei dettagli, fino alla definizione BOM e alla stima della produzione costo. I passaggi seguenti sono la pietra miliare:

FASE 1: Creazione di un modello CAD 3D configurabile e modulare in grado di rappresentare una famiglia di prodotti e personalizzabile in base alle esigenze del cliente. Modularità significa che il modello di assemblaggio è costituito da moduli indipendenti l'uno dall'altro per ridurre al minimo l'impatto delle modifiche da un modulo a quelle collegate. Al livello di assemblaggio la configurabilità significa che ogni componente è collegato agli altri da alcune entità correlate o vincoli geometrici tra entità e che queste relazioni vengono mantenute nonostante le modifiche. A livello di componente la configurabilità significa che il modello comprende un numero di parametri abbastanza necessario per controllare le varie proprietà geometriche delle entità rappresentate senza completamente dettagliare la forma e la topologia e un certo numero di vincoli (cioè relazioni tra entità e equazioni tra i parametri) per consentire modifiche lungo la storia delle operazioni di modellazione.

La creazione di questo modello CAD configurabile e modulare si ottiene applicando il noto approccio sistematico di engineering [142, 143] a tutti i prodotti. Consente ai progettisti di individuare innanzitutto le famiglie di prodotti e quindi creare una struttura funzionale di ciascuna famiglia per decomposizione, costruire successivamente l'architettura modulare correlata e infine mappare il BOM esistente a ciascun modulo e raccogliere un elenco di parametri e vincoli di ciascun componente costituente. L'analisi della modularità della famiglia di prodotti consente di definire i parametri minimi necessari per la realizzazione del modello 3D (ad esempio concentricità, rugosità, profili principali da osservare) Il modello 3D della famiglia di prodotti è realmente realizzato adottando un approccio top-down (cioè "in-context") in cui le parti sono modellate all'interno dell'assemblea e sono connesse a entità "di guida" (ad esempio geometria referenziale, schizzi di layout, involucri) che controllano la forma, le caratteristiche, le dimensioni e le posizioni di essi.

PASSO 2: Mappatura delle caratteristiche di modellazione con quelle avanzate di produzione.

La prima attività del passaggio 2 è quella di classificare le operazioni di fabbricazione che l'azienda ha implementato nel proprio stabilimento produttivo o presso i propri fornitori per tutte le categorie produttive quali la lavorazione a chip, la carpenteria meccanica, la pittura, i trattamenti termici, la copertura superficiale, lo stampaggio in lega metallica e stampaggio in plastica.

Quindi, per ogni funzione di modellazione, vengono determinati i parametri geometrici per caratterizzare in modo univoco le operazioni. Ad esempio l'operazione di fresatura a faccia è caratterizzata da lunghezza, larghezza, profondità, tolleranza geometrica (planarità) e rugosità. Tutte le operazioni sono mappate in modo univoco con un insieme specifico di elementi geometrici e non geometrici definiti come funzioni avanzate di produzione. In questo modo il modello del prodotto può essere rappresentato come una raccolta di avanzate funzionalità di produzione e semplici funzionalità di modellazione. Il riconoscimento di queste caratteristiche sul modello di prodotto consente di stabilire le operazioni e la loro

sequenza. Più in dettaglio, una funzionalità di produzione avanzata è una serie di elementi geometrici (facce e assi) disposti convenientemente in una forma topologica riconoscibile con specifici vincoli dimensionali e con specifiche informazioni di fabbricazione (tolleranza e ruvidità). Queste informazioni determinano un gruppo che può essere associato a un'operazione specifica. Gli algoritmi di riconoscimento delle funzioni analizzano il corpo di un modello CAD specifico, arricchito dall'utente con diverse informazioni sui prodotti (PMI), come la rugosità e le tolleranze dimensionali. Durante la fase di analisi, sono presi in considerazione e confrontati con le caratteristiche avanzate di fabbricazione, facce, bordi e vertici (informazioni topologiche) con relative informazioni geometriche, al fine di stabilire se un gruppo di facce possa essere lavorato con uno specifico caratteristica produttiva.

FASE 3: Personalizzazione delle regole di produzione e della base di conoscenze.

Il terzo passo consente allo sviluppatore di personalizzare la base di conoscenza, comprendendo le caratteristiche avanzate di produzione, i materiali, i prodotti semilavorati, i componenti commerciali, ecc. E le regole di mappatura secondo i cicli di produzione aziendali specifici e le scorte PMI. Ciò significa innanzitutto collegare la base di conoscenze con i sistemi Enterprise Resource Planning (ERP) e Product Lifecycle Management (PLM) aziendali e in secondo luogo per implementare tutte le caratteristiche e le regole personalizzate riconosciute all'interno di LeanCOST.

FASE 4: Previsione dei costi e stima.

La stima dei costi può essere facilmente eseguita a partire dall'introduzione del modello modulare CAD configurabile nel sistema LeanCOST. Una volta determinato un costo preliminare, viene creato un elenco di operazioni e confrontato con quello reale o quello previsto per meglio definire la quotazione. Come il modello CAD evolve e il layout di assemblaggio popola di componenti dettagliati da parte del personale di progettazione, il costo viene raffinato progressivamente perché le caratteristiche di produzione riconosciute aumentano la quantità di informazioni relative ad essi. In fig 22 le fasi di implementazione.



Fig 22 Metodologia per implementazione nel caso studio

4.3 CASO STUDIO DAFRAM



Fig 23 Logo Dafram

DAFRAM S.p.A., fondata nel 1956, è stata la prima ditta a costruire valvole a sfera flottante in Italia. La lunga esperienza maturata durante più di cinquanta anni di attività garantiscono che la DAFRAM è una delle più famose e competitive società del mondo.

Lo stabilimento della DAFRAM è localizzato in Urbisaglia (Macerata), nell'Italia Centrale, in un complesso industriale di 32.000 metri quadrati, 12.000 dei quali coperti. Lo stabilimento comprende l'ufficio commerciali, tecnico e di progettazione e due reparti modernissimi, l'ultimo dei quali, di 4.200 metri quadrati e dieci metri d'altezza, completato nel febbraio 2008, consente di produrre, assemblare, collaudare, sabbiare e verniciare valvole a sfera della massima dimensione e peso.

Nel 2010, in considerazione della grande importanza del mercato cinese, la DAFRAM ha aperto un Ufficio di Rappresentanza in Pechino per facilitare i contatti e assicurare alla propria clientela cinese un rapido e qualificato supporto tecnico.

Lo staff di progettazione e di produzione della DAFRAM comprende ingegneri altamente qualificati con lunga esperienza in tutta la normativa tecnica e nel soddisfare gli specifici requisiti dei clienti. Moderni metodi di disegno vengono impiegati per analizzare le sollecitazioni e le deformazioni cui sono soggetti i corpi e i principali elementi della valvola. Il processo di fabbricazione viene continuamente migliorato e modificato con l'impiego delle più avanzate tecnologie come: centri di lavoro multi uso e numerosi torni a controllo numerico. Speciali centri di collaudo vengono usati per collaudare tutti i prodotti e specificatamente impiegati per VALVOLE A SFERA SUPPORTATA per alta pressione e di grande dimensione.



Fig 24 Valvola trunnion Dafram

Banchi prova sia verticali sia orizzontali così come apparecchiature usate per determinare le coppie di manovra delle valvole, per provare valvole a bassa e alta temperatura permettono alla DAFRAM di collaudare internamente ogni nuovo prototipo e di controllare il 100% della propria produzione prima della consegna.

L'ufficio progettazione della DAFRAM lavora continuamente per innovare, perfezionare e migliorare i prodotti. I nostri ingegneri possono lavorare con i più avanzati software quali Autocad, Pro-Engineer, Pro-Mechanica.

Questi moderni software vengono combinati in DAFRAM con una lunga esperienza di oltre 50 anni in applicazioni critiche nell'industria chimica, nell'oil & gas, nella raffinazione per progettare valvole di prima qualità che soddisfino i più esigenti requisiti di funzionamento dei nostri clienti. Tutti i principali elementi della valvole DAFRAM sono progettati in accordo con le normative internazionali applicabili. La previsione tramite il metodo degli Elementi Finiti del livello di sforzo e della relativa deformazione è parte delle nostre procedure standard per progettare e verificare i componenti della valvola. Prove di sforzo tramite strain gauges vengono inoltre eseguiti per validare i modelli ottenuti con il metodo degli Elementi Finiti. Nel caso di nuovi prodotti, un prototipo viene provato con prove di durata usando le apparecchiature interne e le procedure del reparto Ricerca e Sviluppo.



Fig 25 Skid con valvole Drafram

In accordo con i requisiti del cliente le valvole possono essere progettate, costruite e collaudate secondo i seguenti standard internazionali:

API: 6A, 6D, 607, 598

ASME: B16.5, B16.10, B16.25, B16.34, B31.3, B31.4, B31.8

MSS: SP25, SP44, SP53, SP54, SP55, SP61, SP72, SP82

BS: 1503, 1504, 1560, 2080, 4504, 5146, 5351, 6755

ISO: 14313, 14723, 15156

ASME: Section V, Section VIII Div. 1 and 2 Section IX

ASTM: E94, E142, E165, E280, E446, E709

NACE: MR 01-75

EN: 558,1503,1626,1983,5211,12266,12516,12567,12570,12627,12982

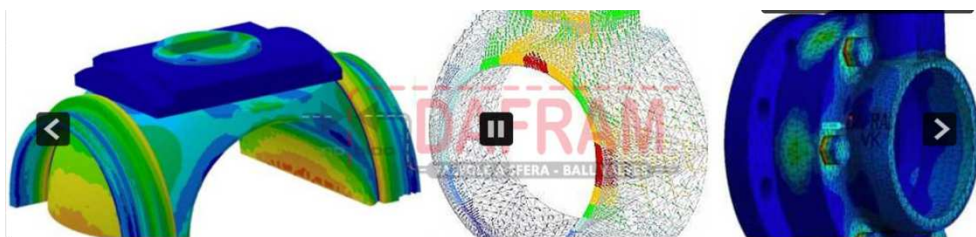


Fig 26 Simulazione elementi finiti componenti valvola

Lo stabilimento DAFRAM è fornito di macchine che coprono la completa gamma di produzione di valvole; speciali macchine sono dedicate alla produzione di tutti i componenti della valvola e l'intero processo di costruzione viene eseguito internamente.

A causa del continuo sviluppo e modernizzazione dei prodotti, lo stabilimento della DAFRAM viene continuamente rinnovato. Esso utilizza le più avanzate tecnologie per la lavorazione, foratura e collaudo delle parti componenti le valvole.

Sette moderni centri di lavoro a controllo numerico più altre macchine tradizionali a controllo numerico assicurano il completo controllo dell'intero processo produttivo e lo stretto rispetto delle tolleranze di progettazione.

All'interno della DAFRAM opera da cinque anni un reparto R & D costituito da giovani ingegneri che ha il compito di studiare e provare nuovi materiali e processi per migliorare la qualità e la funzionalità delle valvole prodotte. Un'attenzione particolare viene data alla simulazione di condizioni di esercizio difficili su prototipi.

Compito del reparto è anche la ricerca di soluzioni costruttive speciali idonee a rispondere ai requisiti posti dalla clientela.

Nel suo lavoro il reparto R & D si avvale correntemente della collaborazione con consulenti esterni e con il mondo universitario.

La DAFRAM considera le proprie risorse umane e il territorio che la circonda come stakeholders (o "portatori di interesse") nei confronti dell'organizzazione stessa; per questo la tutela degli uomini e dell'ambiente così come una crescita responsabile e sostenibile sono da sempre una priorità per la DAFRAM. Questa attenzione e consapevolezza è evidente nei continui e sostanziali investimenti in spazi, impianti, attrezzature, e formazione che l'organizzazione effettua al fine di garantire la salute e la sicurezza delle persone e il rispetto dell'ecosistema.

Dal 2008 la DAFRAM è dotata di un impianto fotovoltaico installato a tetto in grado di sviluppare circa 800 kWh, energia sufficiente a coprire tutto il fabbisogno del sito produttivo. Al fine di rendere sistematico e diffondere l'impegno descritto e al fine di garantire il rispetto della legislazione applicabile, la DAFRAM ha implementato dal 2006 un Sistema di Gestione Integrato per la Salute, la Sicurezza e l'Ambiente (Health, Safety and Environment, HSE) che è stato di recente certificato in conformità alle norme BS OHSAS 18001 e ISO 14001.

4.3.1 STUDI PRELIMINARI

Una valvola a sfera è un sistema meccanico utilizzato per controllare un flusso attraverso una cavità forata e una sfera galleggiante. Il sistema è aperto quando il foro della sfera è in linea con il flusso e chiuso quando è ruotato di 90 gradi dall'impugnatura della valvola. Le valvole

a sfera possono sopportare pressioni fino a 1000 bar e temperature fino a 500 ° C, a seconda del design e dei materiali adottati. Questo sistema può essere trovato in numerose applicazioni industriali, comprese le industrie chimiche e del petrolio e del gas come società che forniscono servizi in ambienti corrosivi e criogenici. Il partner industriale di questa ricerca è una società di medie dimensioni che progetta e produce valvole a sfera di alta qualità di diverse dimensioni, materiali e perdite di carico e velocità di flusso supportate per un'ampia gamma di applicazioni come chimica, alimentazione e olio, gas e liquido. Prima di iniziare con la metodologia, viene eseguita un'analisi del processo AS-IS impiegato per sviluppare le valvole a sfera.

Permette all'analista di studiare le fasi principali del PD, dalla pianificazione degli ordini commissionata, alla progettazione e al calcolo dei costi, fino alla produzione, per raccogliere cicli di tempo per ogni categoria di produzione (es. Operazione, set-up, tempi accessori), per identificare i problemi dello scambio dei dati tra i sistemi CAD adottati, le piattaforme ERP / PLM e la base di conoscenze LeanCOST e infine evidenziare i principali inconvenienti dei metodi attuali per calcolare i costi (ovvero nella fase di creazione di un'offerta, di progettazione di una valvola e di definizione del costo di produzione finale). La metodologia proposta viene applicata alla fase di creazione di un'offerta commissionata che sembra essere una fase critica per l'azienda perché richiede esperienza nella produzione per identificare rapidamente i cicli di produzione e, infine, i fornitori e le conoscenze tecniche per configurare il prodotto in base alle esigenze di marketing. Inoltre, in questa fase, il personale di vendita non ha un modello CAD dettagliato per consentire una quotazione precisa e deve lavorare in collaborazione con i progettisti per creare almeno un modello grezzo per una stima preliminare dei costi. Il rappresentante di vendita riceve generalmente le specifiche dal cliente che fornisce solo un elenco delle funzionalità specifiche della valvola, le sue condizioni di lavoro e le attività da eseguire. L'effettivo processo di generazione dell'offerta si basa sull'abilità di una persona chiave nell'azienda (ovvero un ingegnere del prodotto incentrato sulla valutazione dei costi) che ricerca tra i prodotti che l'azienda ha precedentemente prodotto più simile alla richiesta e modifica il suo costo in base al cliente specifiche. Questa modifica viene spesso effettuata in collaborazione con il reparto di progettazione che realizza una soluzione tecnica personalizzata e una rappresentazione 3D preliminare correlata a partire dal modello CAD del prodotto passato riconosciuto per soddisfare le esigenze del cliente. Tre problemi di questo processo AS-IS si evidenziano:

- 1) a una sola persona è affidato il compito specializzato di stima dei costi a causa della sua competenza e nessuna condivisione della conoscenza produttiva viene perseguita in tutta l'azienda;
- 2) i progettisti sono a malapena consapevoli dei costi il cui problema è spostato solo verso un ingegnere di prodotto e tale situazione implica errori e quindi lunghe iterazioni di tempo; e infine
- 3) il costo proposto differisce da quello finale di circa $\pm 20\%$ a causa dell'adozione di una stima dei costi basata su varianti. Il processo TO-BE deriva dall'adozione della metodologia sopra descritta per superare questi problemi. Il primo passo riguarda l'applicazione dell'approccio sistematico all'ingegneria per identificare le famiglie delle valvole a sfera e

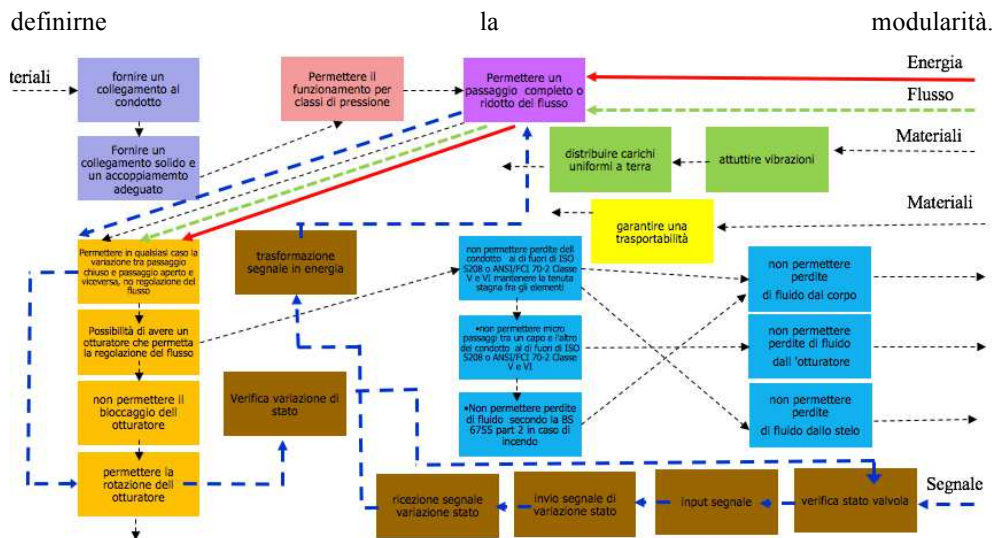


Fig 27 Scomposizione funzionale prodotto "Valvola a sfera"

La scomposizione funzionale (Fig.27) parte dalla definizione della funzione della valvola a sfera principale che è "l'intercettazione di un flusso in un condotto idraulico". Le funzioni sono quindi raggruppate in 7 moduli grazie al metodo euristico in [143]. segue: temperatura, pressione del fluido, segnale, apertura / chiusura, velocità, sicurezza Ad esempio, il modulo "Temperatura" ha la funzione di consentire il passaggio del fluido a determinate temperature di esercizio. La prossima attività riguarda l'associazione delle valvole ' componenti che implementano una funzione specifica e collegano la distinta materiali ai moduli Ad esempio, nel modulo Apertura / Chiusura c'è la sfera che consente il cambio di flusso grazie alla sua rotazione, nel caso del modulo "Pressione" ci sono le guarnizioni, primaria o secondaria , che consente una tenuta stagna grazie alla valvola chiusa. Questa mappatura tra moduli e componenti consente la definizione di un insieme di architetture di prodotto, in cui i moduli sono combinati in modo diverso. in grado di rappresentare l'insieme complessivo di famiglie di prodotti: valvola flottante, valvola trunnion, trunnion criogenico, trunnion HT, valvole a sfera funzionanti a temperature di esercizio di 400 °, valvole sottomarine, valvole di controllo, valvole di ingresso superiori, valvole doppio blocco e sfiato, valvole Hips valvole multiport per la misura e il test di pozzetti multipli, formati da 8 ingressi, 1 uscita 1 uscita per flusso totale e campionamento e test con la possibilità di selezionare quale degli 8 pozzi analizza, valvole di regolazione del flusso che consentono di abbassare la pressione in un data sezione del condotto. In una famiglia di prodotti, i componenti più identificati possono svolgere la stessa funzione; questo significa che possono essere progettate più configurazioni per la stessa famiglia. L'applicazione

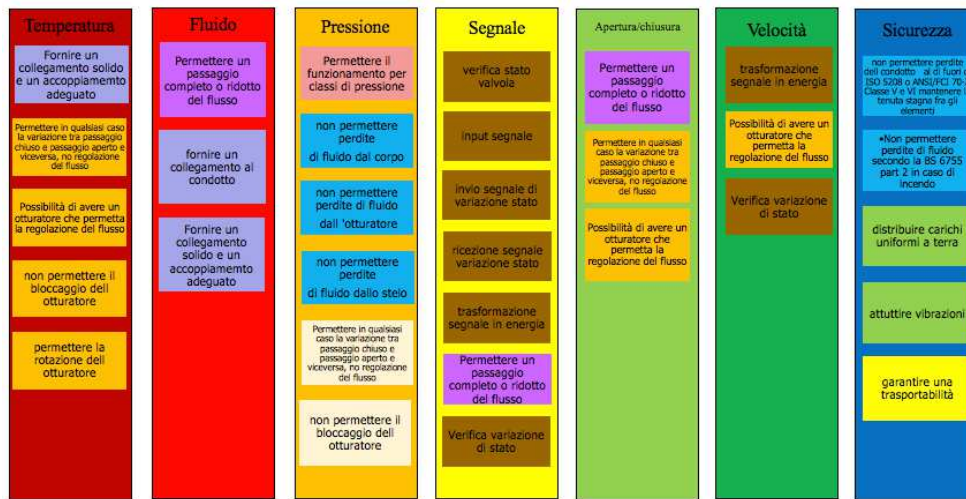


Fig 28 Moduli nel prodotto "Valvola a sfera"

Passaggio 1 conduce ai seguenti output:

- 1) Una struttura funzionale caratterizzata da catene di funzioni;
- 2) Architetture di prodotto come tante famiglie di prodotti con il relativo set di componenti;
- 3) Modelli CAD 3D di ogni layout di famiglia e delle possibili configurazioni ottenute combinando in modo diverso moduli e componenti. Questi modelli sono in grado di rappresentare l'insieme completo di prodotti fabbricati dalla società e le potenziali soluzioni alternative da personalizzare in base alle specifiche del cliente. Per ogni configurazione sono definiti i parametri e i vincoli per gestire la variabilità della famiglia del prodotto e le caratteristiche geometriche e non geometriche. Lo studio di come il modello 3D preliminare deve essere creato dipende dalla complessità della configurazione e dall'ottimizzazione raggiunta tra qualità e velocità di esecuzione (quantità di dettagli da includere nel disegno). Tuttavia, è necessario almeno definire il profilo, disegnandolo qualitativamente.
- 4) Un modello del ciclo di produzione per ogni configurazione grazie alla mappatura tra componenti e elementi BOM. I risultati della Fase 1 possono essere rappresentati da un modello ad albero genealogico (Fig.28), in cui i rami finali sono gli elementi della DBA con le relative operazioni di produzione, i parametri e i materiali necessari. In questo modo tutte le possibili esigenze del cliente vengono incorporate nell'albero genealogico e nei modelli 3D configurabili e modulari di assiemi e componenti.

			AMMONTARE	FLUIDO	Pressione	Segnali	Apertura/Chius.Velocità	Sicurezza
1 00 - Trunnion Guida Piastra	Trunnion Guida Piastra	157648 Trun_GPiastra Std F1FP C150 6" RF SR ASTM350F2C-						
	Base Trunnion Guida Piastra	160914 Trun_GPiastraBase Std F1FP C150 6" RF SR ASTM350						
2 01 - Corpo	Corpo	160662 Corpo ASTM350F2C.1 F1_P_G_Pia C150 Dn150						
2 01 - Corpo	Chiusura con Rifinitura	160663 ChiusRif ASTM350F2C.1 Overlay309L+316L F1FP G.P						
2 01 - Corpo	O-Ring	125923 OR Std Co=3.53 Di=234.54 VitonGlt Sh90 Aed Serie-O						
2 01 - Corpo	Guarnizioni Grafite	73776 GuGraf DeC=254.00 DiC=244.00 HC=2.80 GG ExpGraph.						
2 01 - Corpo	Tiranti	89533 Tiranti Std Unc(L) 5/8" Lu=75 B7M-ZincBian Asme-B1						
2 01 - Corpo	Dadi	60112 Dadi Std Unc(L) 5/8" 2Hm-ZincBian Alto-B18.2.2Tb.9						
2 01 - Corpo	Spine	86619 Spine Std Piena DiSp=10 LuSp=25 ASTM479316L						
2 02 - Flangia Sup.	Flangia Premitreccia	160666 FlangPre ASTM350F2C.1 De=104.01 L=60.5						
2 02 - Flangia Sup.	O-Ring	77165 OR Std Co=2.62 Di=53.64 VitonGlt Sh90 Aed						
2 02 - Flangia Sup.	Guarnizioni Grafite	73565 GuGraf DeC=62.00 DiC=58.00 HC=3.00 GG ExpGraph. Ds						
2 02 - Flangia Sup.	Viti	94932 Viti Metrica 10 Lu=60 A2/70-F304 U5931-Tcei						
2 02 - Flangia Sup.	Spine	86580 Spine Std U8879-71E1st DiSp=10 LuSp=20 EN10132-4C						
2 02 - Flangia Sup.	Flangia Motore	160667 FlangMot ASTM350F2C.1 De=175 Lu=30.0 F14						
2 02 - Flangia Sup.	Viti	94934 Viti Metrica 10 Lu=60 A2/70-F304 U5931-Tcei						
2 04 - Sfera	Sfera con Rivestimento	126886 SferaRiv ASTM350F2C.1 Eng75m600HV G.Pia 150.0 D						
2 04 - Sfera	Cuscinetti	59552 Cuscin Std Di=80.00 H=16.0Sp=2.50 Cu-Ptfe/teia						
2 04 - Sfera	Piastra	79086 Piastra EN10025275JR Dn150 C150-600/PN16-25 SIMM						
2 04 - Sfera	Spine	86666 Spine Std Piena DiSp=6 LuSp=26 ASTM479531803						
2 04 - Sfera	Antifrizione Termoplastiche	50661 AntfTer Pffe De=109.00 Di=88.00 Sp=2.00 Forma:Aa						
2 05 - Portasele	Portasele con Rivestimento	81147 PortaseleRiv ASTM350F2C.1 Eng75m600HV TipoP.5.=						
2 05 - Portasele	Inserito	75179 Inserito SPT/D-152 LauramidPA12 De=176.00 Di=167.00						
2 05 - Portasele	O-Ring	125895 OR Std Co=5.33 Di=183.52 VitonGlt Sh90 Aed Serie-O						
2 05 - Portasele	Baderna Grafol	51122 Baderna Sp=3 Dc=1.4 ExpGraph.						
2 05 - Portasele	Molle Spirale	75759 MolleSpir De=9.4 LuL=23.0 Frec.3.5 InciK750 N.Spir						
2 06 - Stelo	Stelo	87228 Stelo ASTM47931803 DiA=65 Lu=171.00						
2 06 - Stelo	Antifrizione Termoplastiche	50568 AntfTer Pffe+159Vetro De=58.00 Di=46.00 Sp=2.50 F						
2 06 - Stelo	O-Ring	77125 OR Std Co=3.53 Di=164.04 VitonGlt Sh90 Aed Serie-OR						
2 06 - Stelo	Guarnizioni Grafite	73881 GuGraf DeC=52.00 DiC=46.00 HC=4.50 GG ExpGraph. Ds						
2 06 - Stelo	Antifrizione Termoplastiche	97083 AntfTer DevlonV De=48.20 Di=46.13 Sp=10.00 Forma:						
2 08 - Optionals	Piede di supporto	79398 PiedeDiSup 116H EN10025275JR Bandfall Dn16-300-55						
2 08 - Optionals	Golfari a Disegno con Rivestim	72751 GolfarRiv 650R EN10025275JR Zinc Imbul						
1 10 - Sfiato	Accessori Valvola	50064 ValVScarico 3/4" Mnpt ASTM350F2C.1 Otturatore						
1 11 - Drenaggio	Raccorderia	83804 Tappo ASTM350F2C.1 Extr. 1-3/4" MN B16.11						
1 30 - Manovra	Attuatore	160675 Attuat PNeSE Mod./For.=RPRM0030V Z205ZZ09NFCBSevvo						
1 39 - Optionals valvola	Linguetta	75611 Linguet La=14 H=10 Lu=70 FN1803-Z-45E Imb604						
1 39 - Optionals valvola	Tappo Protezione	88471 TappoProt Ep305Dn150(Giallo) Polietilene						

Fig 29 Moduli inseriti nella distinta base "Valvola a sfera"

Ad esempio, un cliente richiede un'ulteriore caratteristica di un prodotto, l'albero consente allo staff tecnico di identificare rapidamente la catena di funzioni, combinare i moduli, determinare l'architettura specifica e configurare la soluzione, che porta a sé un insieme di operazioni di produzione. Il modello 3D viene aggiornato in base alla soluzione. L'applicazione del passo 2 conduce a una raccolta e implementazione completa nella base di conoscenza di tipi di materie prime e semilavorati quali barre, pezzi fucinati e getti per ogni categoria di produzione e operazioni, dei cicli di lavorazione (ad esempio tornitura e fresatura), caratteristiche correlate, strumenti e tempi di preparazione. La maggior parte della conoscenza acquisita viene formalizzata nel sistema LeanCost attraverso la parametrizzazione delle macchine (risorse) dell'azienda, la modifica delle regole di calcolo dei costi e la formazione delle regole di riconoscimento delle caratteristiche personalizzate (ad esempio il risultato del passaggio 3. Questa conoscenza viene anche utilizzata per creare logiche personalizzate per calcolare i costi di lavorazione di una materia prima per creare un pezzo semilavorato. Ad esempio in caso di casting ci sono alcune regole creato per analizzare il restringimento del materiale e stimare il costo della fusione. La stessa procedura è stata ripetuta per i pezzi fucinati della barra. Lo sforzo di applicare la metodologia "Design for costing" e personalizzare lo strumento correlato si traduce in un risparmio di tempo per l'ingegnere di prodotto incentrato sulla valutazione dei costi che non deve attendere il tempo di progettazione dei progettisti di una soluzione e per la generazione rapida di un'offerta da un modello preliminare che si adatta a ogni richiesta del cliente realizzabile.

4.3.2 FASI DI SPERIMENTAZIONE

La fase di sperimentazione in campo ha seguito questo ordine di sviluppo:

- A1 Studio delle problematiche aziendali e dei processi AS-IS di progettazione, prototipazione e produzione delle valvole di regolazione e di tutte le tipologie di prodotti sviluppati dalla Dafram attraverso un'esperienza sul campo.
- A2 Studio ed applicazione del sistema LeanCOST a casi reali al fine di aggiornare il database con il parco macchine dell'azienda e i costi presenti sul gestionale.
- A3 Studio delle metodologie di consuntivazione dell'azienda così da confrontare le preventivazioni con le costificazioni finali ed individuare opportuni fattori correttivi che rendano i preventivi attendibili.
- A4 Studio degli attuali processi di lavorazione e produzione delle valvole.
- A5 Analisi delle regole attualmente impiegate dall'azienda nella costificazione dei prodotti, siano essi quelli da listino, siano essi prodotti speciali su commessa in modo da implementarle all'interno di LeanCOST
- A6 Analisi funzionale di prodotti aziendali secondo metodologie di "Systematic Design" (Engineering Design – G.Pahl – W.Beitz- J.Feldhusen – K.H.Grote – Ken Wallace) al fine di individuare architettura modulare e le diverse configurazioni delle logiche di prodotto.

A1 L'analisi del assieme valvola a sfera, elemento utilizzato per l'intercettazione di un fluido in una condotta tramite la rotazione di una sfera che funge da otturatore, ha permesso di definire e comprendere a pieno i principi di funzionamento di tale elemento. Sono stati analizzati tutte le diverse tipologie di prodotto come: valvole flottanti , caratteristica principale è quella di avere una sfera "galleggiante" nel fluido, valvole trunnion la cui caratteristica principale è quella di avere una sfera supportata in cui la tenuta è garantita da dei portasede mobili, valvole a doppia sfera, valvole atte a garantire la tenuta sia a bassa temperatura (-196°) che ad alta (+400°) , valvole subsea, valvole di regolazione (caratteristica principale è quella di riuscire ad abbassare la pressione in tubazione tramite schermi e tramite la rotazione controllata dell'otturatore) , valvole multiport.

Questo ha portato a capire i con di bottiglia che sono presenti azienda, prevalentemente incentrati nella parte di offerta-preventivazione-prototipazione. Lead Time troppo alto in fase di offerta-preventivazione.

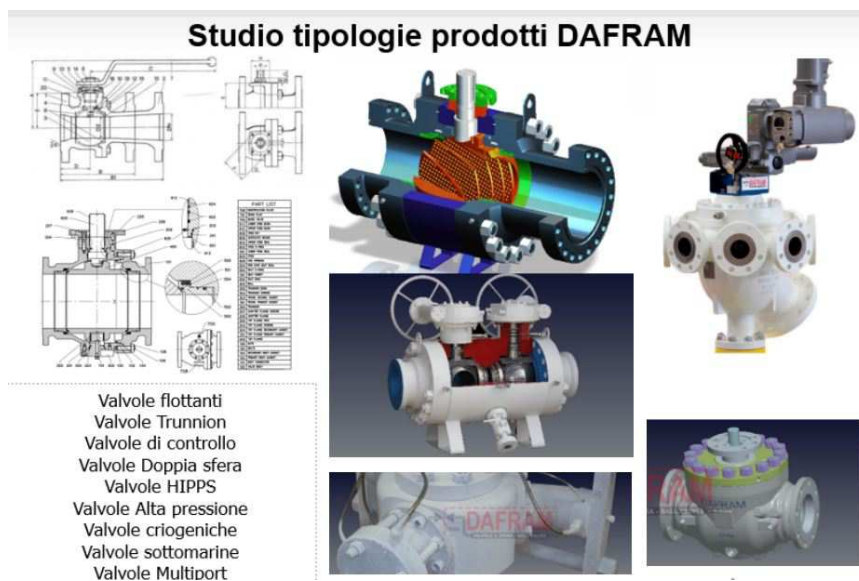


Fig 30 Prodotti Drafram

A2 Per risolvere il problema di avere dei lunghi tempi di attraversamento tra la richiesta del cliente e la pubblicazione dell'offerta, si è incentrato il lavoro sulla parziale implementazione del software LeanCost,HyperLean, programma che tramite un modello 3d di massima analizza l'assieme e determina le lavorazioni da eseguire per avere il prodotto finito.

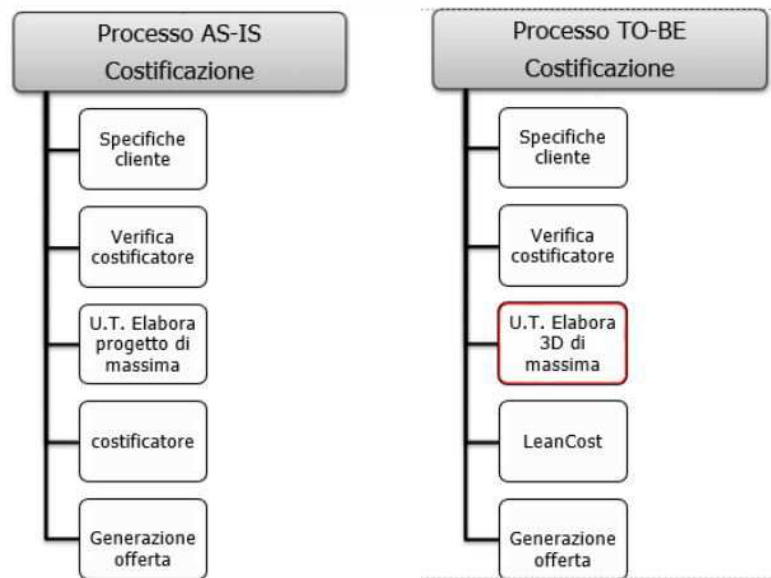


Fig 31 Processo di generazione offerta AI-IS TO-BE

- A3 Per analizzare le fasi di consuntivazione aziendale sono stati studiati sul campo i metodi di rilevazione delle attività interne dell'azienda. L'azienda utilizza un metodo che permette di monitorare l'andamento delle lavorazioni tramite rilevazioni effettuata dagli operatori in tutte le attività di primo livello. Da qui si è potuto verificare l'attendibilità delle preventivazioni fatte con LeanCost.
- A4 Per l'analisi dei processi di lavorazione, tempi ciclo e rispetto dei tali da parte della produzione si è fatta un'analisi sul campo, per comprendere a pieno le tecniche usate nelle specifiche lavorazioni e fasi di lavoro partendo dal grezzo fino ad arrivare al montaggio, collaudo e imballaggio del prodotto.



Fig 32 Lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo

A5 Le regole che utilizza l'azienda allo stato attuale, sono risultate legate fortemente alla presenza all'interno del reparto commerciale di una figura, che con esperienza decennale e specifica di settore riesce tramite analisi ad hoc a proporre un costo. La criticità in ciò deriva dal fatto che l'analisi effettuata non è rigorosa ma basata su esperienza e conoscenza personale del singolo.

Attraverso la fase di scomposizione funzionale che si è sviluppata a partire dallo scopo che il prodotto "valvole a sfera" deve assolvere, cioè "l'intercettazione di un flusso in un condotto idraulico", sono state individuate delle sotto-funzioni di base il cui raggruppamento ha portato alla definizione di 7 moduli: temperatura, fluido, pressione, segnale, apertura/chiusura, velocità, sicurezza.

Ognuno di questi moduli svolge una specifica funzione ad esempio il modulo Temperatura ha la funzione di permettere il passaggio del fluido a determinate temperature di esercizio, il modulo Segnale permette di trasferire l'informazione di variazione del flusso della condotta così da passare per il modulo Apertura/chiusura che ha il compito di effettuare la variazione di flusso.

La fase successiva dello studio si è compiuta associando ad ogni modulo i rispettivi componenti che permettono di realizzare quella specifica funzione.

Nel caso del modulo Apertura/Chiusura si ha la sfera, che con la sua rotazione permette la variazione di flusso, nel caso della pressione si hanno le guarnizioni, primarie o secondarie, che permettono la tenuta a valvola chiusa.

Una volta individuati i moduli e i rispettivi componenti, si può tramite la loro combinazione ottenere diverse architetture di prodotto che coprono l'intera gamma di produzione dell'azienda "Dafram", ovvero diverse tipologie di valvole che permettono applicazioni e usi nei diversi campi di interesse aziendale, come ad esempio valvole trunnion H.T., valvole a sfera che lavorano a temperature di esercizio pari a 400°, o valvole Multiport che permette la misurazione e il test di pozzi multipli, essendo formata da 8 ingressi, 1 uscita a portata totale e 1 uscita per prelievo e test con possibilità di selezionare quale degli 8 pozzi analizzare, o valvole di regolazione di flusso che permettono di abbassare la pressione in un determinato tratto di condotta, sempre però utilizzando gli stessi moduli.

L'analisi modulare e la scomposizione del prodotto in moduli in grado di riconfigurarsi per generare tutti i diversi prodotti della famiglia, implica dapprima l'individuazione di tutte le funzioni della valvola, la scomposizione funzionale e la definizione dei moduli a mezzi di metodi euristici, poi la definizione di tutte le correlazioni e i vincoli che esistono tra i componenti della valvola a sfera che esplicano le funzioni raggruppate in ciascun modulo.

La costruzione del modello-tecnico attraverso l'approccio modulare alla progettazione è stato pensato e realizzato a livelli differenti:

- Modello funzionale caratterizzato da catene di funzioni;
- Modello che riflette l'architettura della famiglia di prodotto costituito dai moduli identificati con metodi euristici;
- Modello che rappresenta una specifica configurazione di un prodotto ottenuto a partire da quello modulare con l'aggiunta di legami tra i moduli che realizzano una particolare soluzione tecnico-costruttiva
- Modello di layout dove le funzioni vengono tradotte in caratteristiche morfologiche, dimensionali e geometriche attraverso la definizione di parametri che gestiscono la variabilità e i legami vengono tradotti in vincoli dimensionali, di compatibilità di materiali
- Modello tecnico-produttivo dove il layout diventa ancora più specifico e si rapporta con la distinta base del prodotto definita in azienda.

Sia concettualmente che operativamente si è adottata una rappresentazione ad albero per definire in maniera compiuta il modello tecnico di prodotto. Questo albero è molto simile al modello commerciale di distinta base, infatti tutte le possibili richieste del cliente sono inglobate nella definizione di modello funzionale e modulare. Le preferenze del cliente sono tradotte in requisiti tecnici-costruttivi che definiscono una particolare configurazione del prodotto.

La progettazione del prodotto con questo metodo è orientata a una configurazione automatica. Si pensi ad esempio che il cliente richieda una particolare caratteristica aggiuntiva nel prodotto già configurato, la catena delle funzioni in parte si adatta con l'aggiunta di una nuova operazione, il modello dei moduli si aggiorna e in funzione della necessità del cliente si determina quale architettura specifica realizza a livello tecnologico e costruttivo le richieste. Il modello si aggiorna in base alle richieste del acquirente.

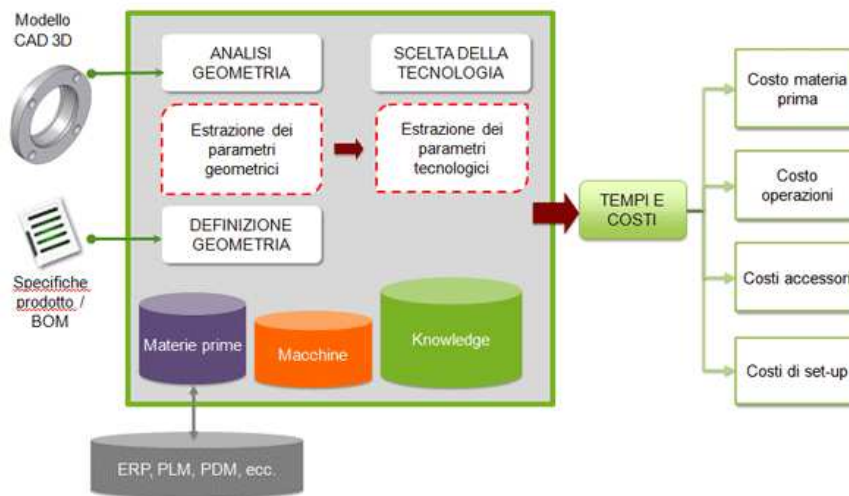
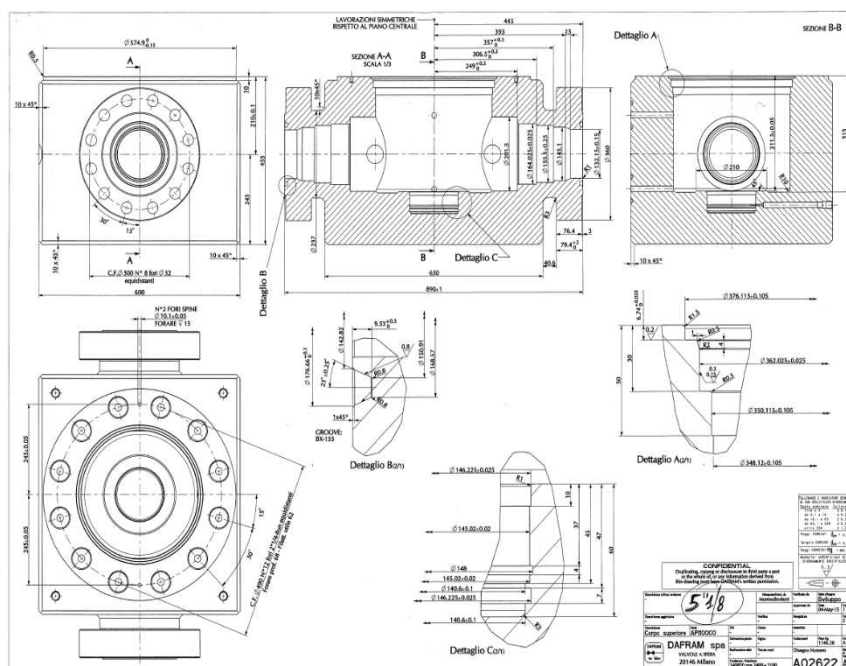


Fig 33 Architettura Lean Cost

La sperimentazione si concentra sul confronto tra un tradizionale processo di generazione dell'offerta e il TO-BE proposto. Il case study è una valvola "top entry", caratterizzata dalla possibilità di essere ispezionata direttamente sulla linea, senza operazioni di assemblaggio. I componenti principali della valvola sono il corpo, la chiusura (o tappo superiore), il supporto del sedile (ovvero l'elemento mobile che consente la tenuta), la sfera e lo stelo e alcuni accessori aggiuntivi come il collegamento e le viti. Il modello 3D del layout di assemblaggio è creato da CATIA V5 di Dessault Systems, che consente la gestione di una struttura di prodotto complessa a diversi livelli di dettaglio. Ad esempio, il corpo è progettato per soddisfare le dimensioni del requisito di base, ma senza entrare nei dettagli necessari per risolvere problemi costruttivi (Fig.35)



L'implementazione della knowledge base LeanCOST secondo le fasi 2 e 3 offre la possibilità di identificare le materie prime e i pezzi semilavorati per ciascun componente, stimare le operazioni di lavorazione e i relativi parametri nonché i tempi di assemblaggio e infine calcolare un costo come analitico somma dei costi di materiali, operazioni, set-up e accessori. La Figura 37 mostra il report dei costi per il corpo della valvola a sfera. Per valutare l'efficienza del processo, l'accuratezza dello strumento implementato e l'affidabilità della metodologia proposta, viene effettuato un confronto dei costi ottenuti nella fase di generazione dell'offerta tra processi AS-IS e TO-BE. Il processo AS-IS è supportato da disegni 2D preliminari e modelli 3D di componenti realizzati dal reparto di progettazione, foglio di calcolo e tabella dei costi. L'ingegnere del prodotto ha stimato un costo di 4.122,63 Euro in caso di 20 pezzi da produrre principalmente grazie alla sua esperienza e al suo passato esperienze. Il costo calcolato da LeanCOST è 4.239,50 Euro, con una deviazione del 2,8%. Una volta che il prodotto è stato fabbricato, il reale costo sostenuto è di 4189,00 Euro, che si ricava dalla previsione del processo AS-IS del 6% circa e dalla stima del processo TO-BE del 3,2% circa

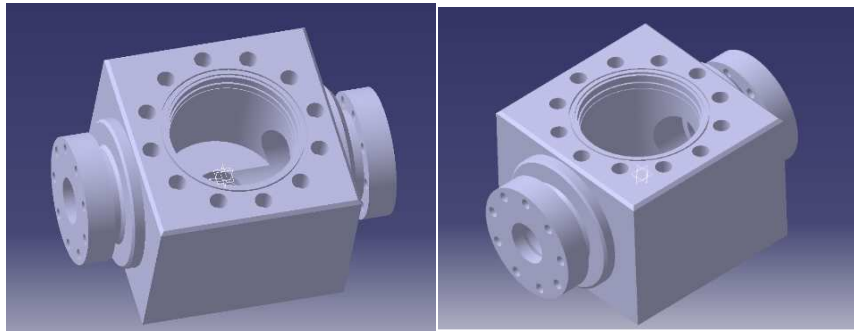


Fig 35 Modello 3D semplificato

Il confronto si concentra anche sul tempo di offrire un'offerta in caso di processi AS-IS e TO-BE. Il processo AS-IS ha richiesto 2 settimane e 12 ore / uomo, gli altri 2 giorni e 5 ore / uomo, con un notevole risparmio di tempo. Lo stesso confronto è stato ripetuto per altre tre valvole diverse (ad esempio una entrata superiore, una entrata laterale e una valvola flottante). La valvola trunnion da materiale grezzo cast A494 CW6MC. L'ingegnere del prodotto ha stimato un costo di 1902 Euro in caso di 20 pezzi produrre principalmente grazie

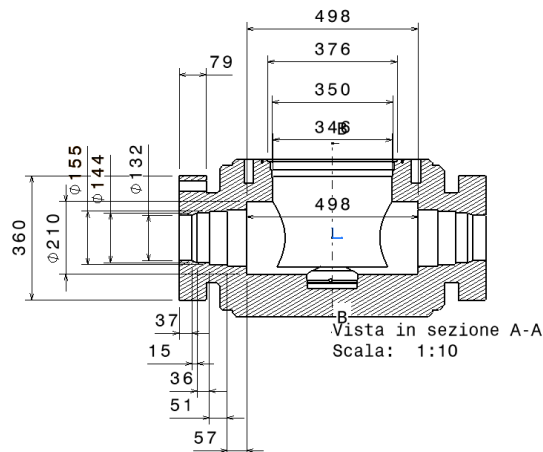


Fig 36 Sezione modello 3D semplificato

alla sua esperienza e alle sue passate esperienze. Il costo calcolato da LeanCOST è di 1967,49 Euro, con una deviazione del 3,4%. La valvola trunnion da materiale grezzo cast A351 CF8M. L'ingegnere del prodotto ha stimato un costo di 2245 Euro in caso di 20 pezzi da produrre principalmente grazie alla sua esperienza e alle sue passate esperienze. Il costo calcolato da LeanCOST è di 2270,72 Euro, con una deviazione dell'1,1%. La deviazione minore o maggiore rispetto al costo contabile dipende dalla complessità della valvola e dal materiale adottato che in alcuni casi richiede particolari operazioni di produzione. A parte

l'evidente efficienza del processo, la ripetibilità delle procedure, la condivisione delle conoscenze di produzione e la qualità percepita dell'offerta sono i principali benefici indiretti delineati nell'implementazione di una strategia di "Design for Costing". La metodologia

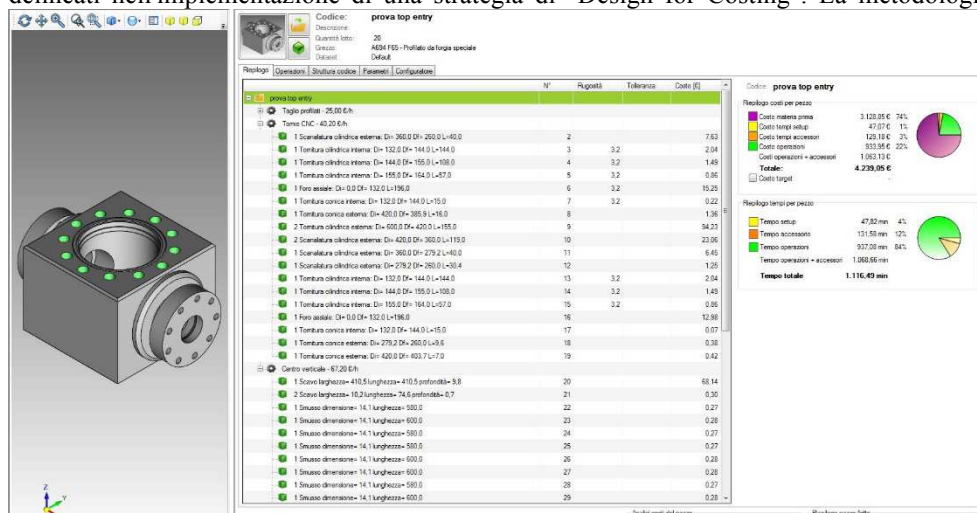


Fig 37 Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche

presentata e lo strumento correlato aumentano l'efficienza del reparto di progettazione e ingegnerizzazione del prodotto in quanto dedica meno tempo alla progettazione di solo un'offerta e più tempo può essere speso per proporre soluzioni innovative al raggiungimento dell'ordine. Aumenta indirettamente la capacità di generare offerte e la capacità di gestirle.

Totale LeanCost = 4239,5 Euro/pezzo
 Totale costificato = 4122,63 Euro/pezzo
 Totale consuntivo = 4189,00 Euro / pezzo

$$\Delta = + 2.8 \%$$

Fig 38 Comparazione tra costo a consuntivo e costo elaborato da software

Un altro esempio di applicazione è stato per svariati componenti valvola, alcuni esempi a seguito che prevedono l'utilizzo della metodologia e dello strumento LeanCost opportunamente adattato alla esigenze aziendali.

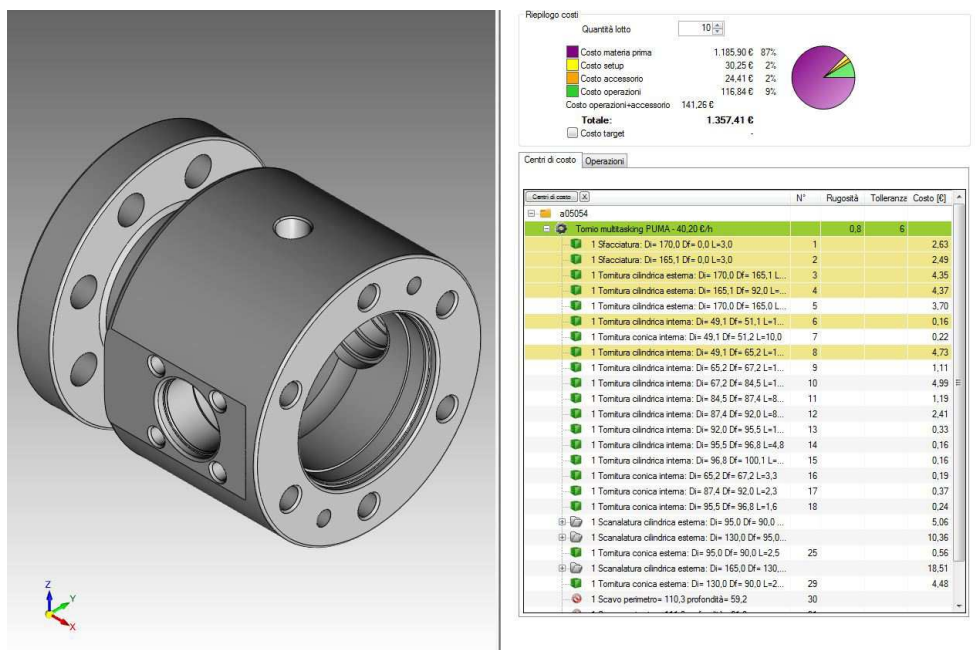


Fig 38a Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche

Il corpo Trunnion (fig 38a) da materiale grezzo cast B564 N06625. L'ingegnere del prodotto ha stimato un costo di 1400 Euro in caso di 10 pezzi produrre principalmente grazie alla sua esperienza. Il costo calcolato da LeanCOST è di 1357,41 Euro, con una deviazione del 3,0%. Per realizzare queste costificazioni si sono applicati i concetti espressi nei capitoli precedenti oltre ad una personalizzazione in termini di utensilerie utilizzate dall'azienda e grazie alle ottimizzazioni ottenute in fase di produzione e realizzazione.

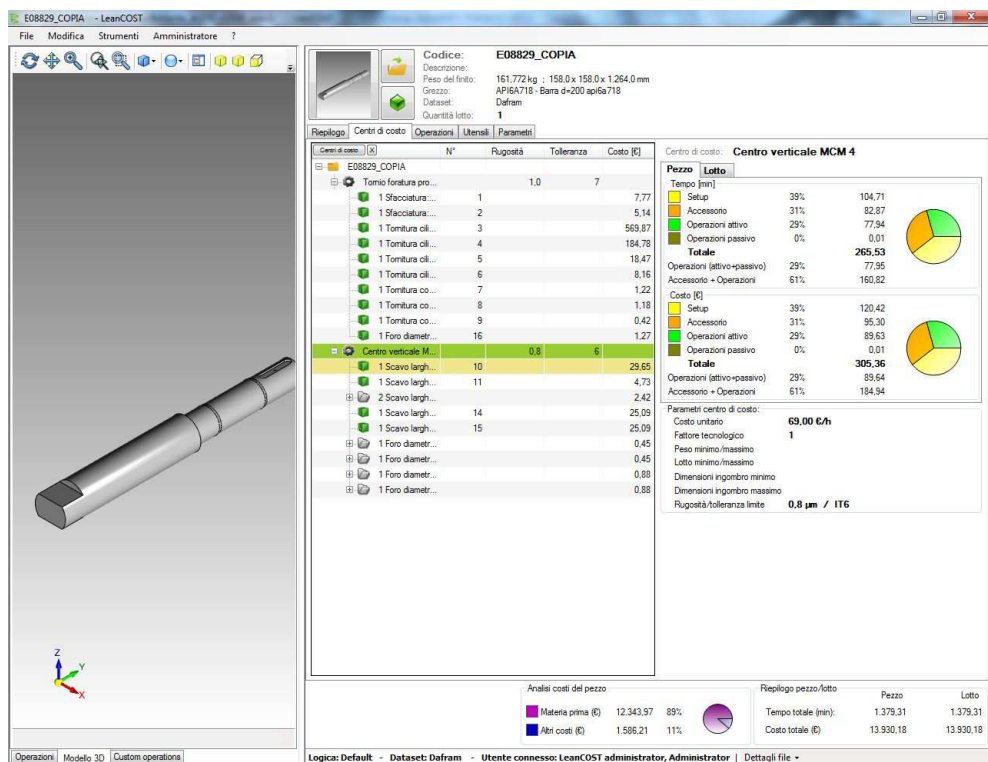


Fig 38b Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche

Lo stelo (fig 38b) da materiale grezzo API 6 A 718. L'ingegnere del prodotto ha stimato un ciclo di lavoro che occupa la risorsa per 200 minuti, grazie alla sua esperienza. Il tempo calcolato da LeanCOST è di 265,53 minuti, con una deviazione di circa 30,0%. La lavorazione in macchina CNC ha confermato la necessità di 270 minuti per la realizzazione del componente.

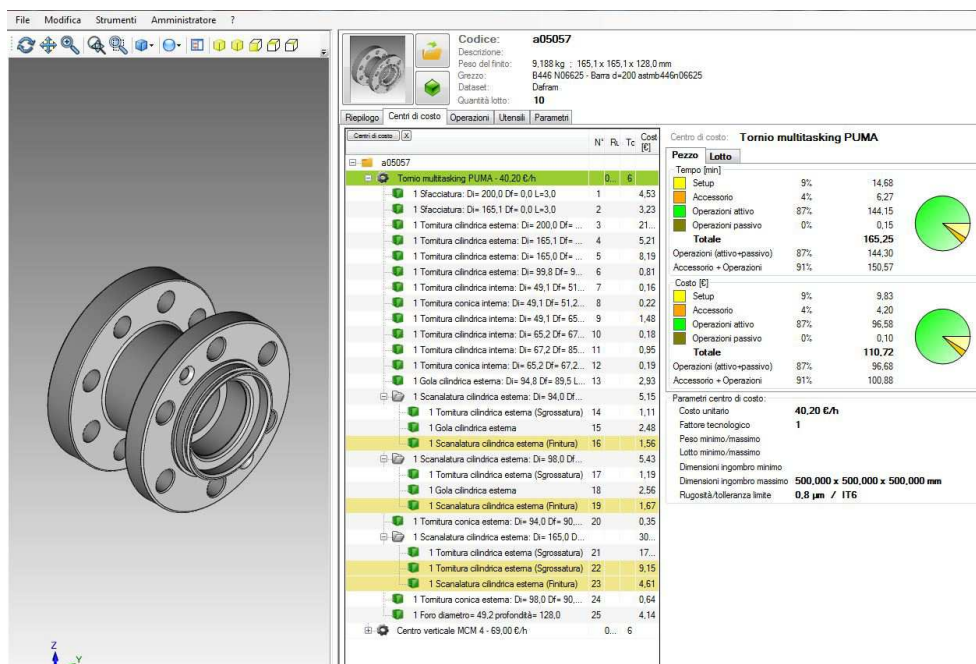


Fig 38c Schermata Lean Cost elaborazione costo lavorazioni meccaniche

La chiusura Trunnion (fig 38c) da materiale grezzo cast B564 N06625. L'ingegnere del prodotto ha stimato un costo di tornitura per il componente pari a 98 Euro in caso di 10 pezzi produrre principalmente grazie alla sua esperienza. Il costo calcolato da LeanCOST è di 110,72 Euro, con una deviazione del 12,0%.

La lavorazione in macchina CNC ha confermato la necessità di 102 Euro per la realizzazione del componente.

4.4 METODOLOGIA A STEP

Un'importante area di gestione dei rischi per le aziende produttrici è legata all'ergonomia, in particolare alla prevenzione delle lesioni e dei disturbi muscolo-scheletrici (MSD). I vantaggi maggiori possono essere raggiunti se si utilizza un approccio preventivo basato sulla progettazione ergonomica dei luoghi di lavoro in base all'attenzione alle esigenze umane e alle limitazioni, nonché ai principi di interazione uomo-macchina. Per supportare l'applicazione della gestione del rischio ergonomico in pratica, la ricerca definisce una metodologia di multipath per indagare i fattori umani più appropriati sulla sicurezza considerando l'area di lavoro specifica, gli strumenti adottati, l'ambiente di produzione complessivo e l'attività dei lavoratori. La ricerca adotta anche strumenti di produzione digitale e set-up di valutazione per effettuare una valutazione ergonomica basata su simulazioni di casi reali. Uno studio industriale caso è utilizzato per illustrare la metodologia e per dimostrare i vantaggi per le aziende.

Oggi il miglioramento del benessere degli operai nelle fabbriche è indispensabile per tutte le aziende, non solo per il risparmio previsto, ma anche per l'efficienza dei processi più elevata che si può realizzare a causa dell'assenteismo ridotto e delle interruzioni meno frequenti [144]. Gli approcci tradizionali si basano sul monitoraggio delle criticità e sull'introduzione di azioni di ottimizzazione. Tuttavia, per ridurre concretamente le lesioni, le malattie, le cadute e altre malattie dei lavoratori, i vantaggi più elevati possono essere raggiunti da un ambiente di lavoro più attento ed ergonomico. Una prospettiva impegnativa è introdurre fattori umani nella progettazione dell'area di lavoro e nella pianificazione del processo, al fine di garantire la sicurezza dei lavoratori e prevenire i rischi potenziali [145, 146]. La panoramica della letteratura sottolinea che l'esposizione dei lavoratori ai rischi è direttamente proporzionale a una serie di movimenti sbagliati e pratiche pericolose durante l'esecuzione dei compiti (ad esempio, la movimentazione manuale di carichi pesanti, il frequente spostamento tra diversi compiti a periodi irregolari, movimenti ripetitivi per un periodo di tempo prolungato, sollevamento improvviso di carichi). In questo contesto, l'assemblaggio manuale viene trovato come una delle fasi più critiche nei processi produttivi [147]. La consapevolezza dei rischi ergonomici, accompagnata da linee guida per ridurre il carico di lavoro fisico e mentale, potrebbe essere efficace per prevenire lesioni e aumentare le prestazioni del lavoro. Numerosi metodi di valutazione sono stati sviluppati negli ultimi 30 anni, dalle liste di controllo semplici alle tecniche più complesse. Più di recente, l'uso di modelli umani digitali (DHM) consente di rappresentare le azioni umane in un mondo digitale per supportare il design del workspace. In questo contesto, l'utilizzo di tecnologie Reality (VR) e Augmented Reality (AR) può creare spazi immersivi e interattivi in cui gli utenti reali possono simulare le azioni dei lavoratori con un elevato livello di presenza e realismo, a seconda delle tecnologie di tracciamento e interazione usate. Tuttavia, la revisione della letteratura ha dimostrato la mancanza di linee guida per definire le tecniche di misurazione più adeguate per valutare oggettivamente le prestazioni ergonomiche e per gestire i rischi potenziali, secondo il contesto specifico di utilizzo. Questo documento si concentra sulla definizione di una metodologia di multipath per sostenere efficacemente la valutazione delle prestazioni ergonomiche dei lavoratori all'interno del loro spazio di lavoro e definisce quali parametri influenzeranno le prestazioni umane e di processo, da considerare per la definizione di un luogo di lavoro ottimale. In effetti, esistono molti parametri che possono influenzare l'esito della misura e comprometterebbe la qualità dei risultati ottenuti. L'obiettivo della ricerca è quello di fornire un approccio strutturato per la valutazione ergonomica in un ambiente reale e in un ambiente simulato, adeguatamente attrezzato in un laboratorio. La metodologia proposta si basa su 5 passaggi che consentono di identificare facilmente un "percorso" di analisi adeguato per il contesto specifico di utilizzo e un elenco di requisiti per lo sviluppo di una corretta impostazione di valutazione. La metodologia proposta è stata applicata ad uno studio industriale relativo all'assemblaggio manuale di una cappa da cucina. I risultati ottenuti hanno dimostrato l'efficacia della soluzione proposta.

4.4.1 LAVORI CORRELATI

Gestione del rischio

La gestione dei rischi nell'industria si concentra sull'identificazione, la valutazione e la priorità dei rischi come effetto dell'incertezza (ISO 31000, 2009), al fine di minimizzare,

monitorare e controllare la probabilità di eventi sfortunati o per massimizzare la realizzazione delle opportunità [148]. I rischi possono provenire da varie fonti, tra cui l'incertezza nei mercati finanziari, le minacce provocate dai guasti del progetto in qualsiasi fase di progettazione, sviluppo o produzione, passività legali, rischio di credito, incidenti, cause e disastri naturali, attacchi deliberati da un avversario o eventi di incertezza o imprevedibile causa radice. In questo contesto, la ricerca accademica si concentra generalmente sugli aspetti finanziari e sui rischi legati alle attività aziendali (ad esempio, variabilità del valore della società o flussi di cassa aziendali). Tuttavia, da quasi 20 anni l'OSHA (Occupational Safety and Health Act) ha definito standard e requisiti relativi alla gestione dei rischi basati sull'ergonomia [149]. Esso dimostra che un'area specifica di gestione del rischio che si riferisce all'uomo e al proprio lavoro deve includere l'ergonomia. Infatti, come la scienza del lavoro dei lavoratori alle persone, l'ergonomia comprende il corpo delle conoscenze sulle abilità fisiche e sulle limitazioni, nonché altre caratteristiche umane rilevanti per la progettazione di posti di lavoro o di macchine che svolgono un ruolo essenziale nella gestione dei rischi sul posto di lavoro. I luoghi di lavoro sono stati tradizionalmente progettati per spostare in modo efficiente prodotti o macchine di supporto. Il crescente numero di lesioni causate da movimenti ripetitivi, forza eccessiva e posizioni scomode, l'ergonomia è diventata un fattore critico per la sicurezza sul lavoro [151]. I fattori di rischio e di rischio sono concetti comuni utilizzati per la sicurezza e la letteratura ergonomica applicata. Il rischio comprende quanto è probabile o quale sia la probabilità di un evento e la gravità della conseguenza o qual è la severità se si verifica qualcosa. Il rischio è spesso definito sulla base di dati numerici legati all'esposizione. A livello estremo, il rischio di lesioni può essere considerato come una probabilità molto bassa ma con conseguenze estremamente elevate o con probabilità più elevate, ma meno gravi. Il rischio è anche intuitivo rispetto alle impostazioni del lavoro e all'altro. Il rischio implica una probabilità di lesioni e le probabilità di un infortunio sono una funzione del livello di rischio e del tempo di esposizione del lavoratore. È possibile che i lavoratori in un sito non dispongano di ferite per un periodo di tempo. Tuttavia, l'assenza di ferite non implica l'assenza di rischio. In letteratura, i fattori di rischio sono definiti come azioni o condizioni che aumentano la probabilità di lesioni al sistema muscolo-scheletrico. La letteratura ergonomica applicata riconosce un piccolo insieme di fattori di rischio fisico comune in molte occupazioni e nelle impostazioni di lavoro [151]. La relazione tra le esposizioni del fattore di rischio e il livello di rischio di lesioni muscolo-scheletriche non è facilmente definita. Anche se i fattori di rischio fisico sono importanti fattori di rischio di prima linea, ci sono altri fattori plausibili come i fattori organizzativi e psicosociali che possono provocare un disturbo o influenzare indirettamente l'effetto dei fattori di rischio fisico [152]. Sono state identificate tre categorie di fattori di rischio: esposizioni biomeccaniche, stressori psicosociali e fattori di rischio individuali [153]. Le esposizioni biomeccaniche includono fattori quali i luoghi di lavoro mal progettati e le esposizioni biomeccaniche come il movimento ripetitivo, le forze elevate e le deviazioni da allineamenti del corpo neutro [154]. Stressori psicosociali sul lavoro includono fattori quali stress stressati nei luoghi di lavoro, sostegno sociale scarsamente percepito, basso controllo percepito del lavoro e pressione temporale [155]. I professionisti nel campo dell'ergonomia dovrebbero progettare nuovi posti di lavoro o modificare i luoghi di lavoro stabiliti in base agli studi sulle capacità umane e sulla limitazione. Infatti, la valutazione dell'ergonomia sul posto di lavoro è stata riconosciuta come un fattore chiave per la gestione del rischio, anzi il controllo e la gestione dei fattori di rischio, come le posizioni scomode, le ripetizioni e lo stress, permettono

alle aziende di prevenire gli incidenti, migliorare l'efficienza produttiva e il benessere psicosociale e, infine, un considerevole risparmio medio nel costo di rifiuto annuo e nel tasso di rifiuto [156]. Recentemente sono state proposte interessanti revisioni di fattori di rischio ergonomici per diversi settori, dall'industria edile [157] a specifiche industrie manifatturiere [158]. Tuttavia, tutti i casi hanno evidenziato che i fattori di rischio sono sempre valutati in ambienti reali in base al loro verificarsi, piuttosto che secondo un approccio proattivo dalle fasi di progettazione.

Indagine di fattori umani nella pratica di progettazione

L'ergonomia si riferisce alla disciplina scientifica interessata alla comprensione delle interazioni tra gli esseri umani e gli altri elementi di un sistema. Esso si concentra sull'applicazione di teoria, principi e metodi di fattori umani da progettare per ottimizzare il benessere umano e le prestazioni complessive del sistema [159]. Lo studio delle interazioni tra esseri umani e tecnologie mira a rendere le attività, le periferiche, le interfacce, le apparecchiature e gli ambienti compatibili con le esigenze, le abilità e le limitazioni delle persone e quindi ottimizzare questa interazione per creare le migliori condizioni di lavoro [160]. È stato dimostrato come i fattori umani influenzano notevolmente l'efficienza globale ed i costi dei processi industriali, dalla manipolazione dei materiali all'assemblaggio, alla raccolta degli ordini o alle operazioni in linea [161; 162]. Una bassa attenzione ai fattori umani porta a posizioni innaturali e azioni pericolose eseguite dai lavoratori durante il loro lavoro, con conseguenti prestazioni inferiori, tempi di produzione più elevati, maggiore assenza dal lavoro e un aumento generale dei disturbi muscoloscheletrici (MSD), con un grande impatto economico su sia società che società. Gli effetti di una cattiva ergonomia sul posto di lavoro sulla produttività, sulla qualità della produzione, sulla sicurezza e sui costi sono stati dimostrati da diversi studi [163; 164; 165]. Numerosi metodi sono stati sviluppati in letteratura per studiare fattori di rischio ergonomici durante le operazioni di produzione. I metodi tradizionali si basano sull'osservazione diretta dell'azione dei lavoratori sulla workstation; consente di identificare le posizioni e movimenti pericolosi, la stima del carico di lavoro e la definizione del rischio potenziale. Tra questi, i metodi oggettivi si basano sulla valutazione della postura e sulla misura del carico di lavoro. I più diffusi sono: l'equazione di sollevamento NIOSH [166], la rapida valutazione dell'arto superiore (RULA) [167], Rapid Entire Body Assessment (REBA) [167], OCRA [168], Indice di Strain [169] e PLIBEL [170]. Diversamente, i metodi soggettivi si basano sull'osservazione degli sforzi umani e sul disagio nell'esecuzione dei compiti, come la esercitazione e la difficoltà percepite [171] e la tecnica di analisi del lavoro [172]. Oggi i progettisti stanno utilizzando un approccio Human-Centered Design (HCD) per definire i requisiti di spazio di lavoro, intesi come un insieme di funzioni, layout dell'apparecchiatura e dimensioni fisiche al fine di prevenire il rischio fisico e psicofisico per i lavoratori. A questo scopo, i prototipi virtuali possono essere utilizzati per simulare un ambiente di fabbrica virtuale in cui vengono replicate le geometrie e il comportamento del luogo di lavoro industriale e gli strumenti digitali di modellazione umana (DHM) vengono utilizzati per riprodurre l'attività umana. Permette di eseguire una simulazione realistica dei compiti di lavoro considerando gli operatori, i tempi di processo, i materiali e le attrezzature impiegati per eseguire analisi ergonomiche sullo spazio di lavoro sulla base delle variabili di output specificate (ad esempio forza richiesta, resistenza umana, posizione presunta). Studi recenti hanno certificato la validità e l'affidabilità di prototipi virtuali e strumenti di produzione digitali per la valutazione ergonomica dello spazio di

lavoro industriale [173; 174]. Oggi i modelli umani digitali sono inclusi in una vasta gamma di software CAD commerciale come CATIA (da Dassault Systèmes) o CREO (da Parametric Technologies) in cui i manichini virtuali possono assumere un insieme di posizioni statiche. Inoltre, sistemi più complessi come DELMIA (da Dassault Systèmes) (DELMIA ERGONOMICS, 2017) e JACK (da Siemens) (JACK, 2017) in cui sono animati dinamicamente per valutare l'ergonomia mentre il manichino esegue attività pianificate. Infine, esistono altri strumenti specifici adatti a particolari applicazioni industriali, come SANTOS (2017), 3DSPP (2017) o Anybody Modeling System (2017). Tuttavia, l'uso di questi sistemi CAD richiede agli esperti di posizionare il manichino nella posizione corretta e di solito si spende molto per preparare una simulazione di processo realistica e dinamica [175]. Inoltre, le simulazioni digitali non sono in genere in grado di assicurare una robusta stima del carico di lavoro umano poiché le simulazioni sono generalmente indicate per analisi discrete su posizioni statiche, anziché una simulazione dinamica di processo, forniscono risultati specifici per la condizione analizzata, senza alcuna indicazione circa la correzione azioni e concentrarsi sull'ergonomia fisica senza considerare gli aspetti cognitivi e il carico di lavoro mentale, efficaci comportamenti umani e esperienza vissuta. Per includere gli utenti nella simulazione digitale, le cosiddette tecnologie di cattura di movimento possono integrare i manichini virtuali con l'utente reale che simula l'interazione utente-spazio di lavoro con specifici API o plug-in [176] creazione di prototipi misti e simulazioni interattive virtuali, tipicamente denominate Digital Mock-Ups (DMU) [177]. Inoltre, le tecnologie Reality (VR) e Augmented Reality (AR) sono utili per valutare i fattori umani mentre gli utenti simulano le prestazioni dei lavoratori in un mondo digitale o misto, anticipando la realizzazione fisica dell'area di lavoro. Le tecnologie VR e AR sono state adottate in molti studi accademici recenti per sviluppare prototipi digitali e interattivi sul posto di lavoro per supportare l'utente durante le operazioni di assemblaggio o di manutenzione, coinvolgendo sia persone abili che disabili. Pertanto, per condurre una serie di analisi ergonomiche occorre realizzare un'intera interazione tra l'utente e il posto di lavoro. Questo fatto richiede un elevato realismo ottenuto da tecnologie all'avanguardia e simulazioni accurate, che rendono la simulazione molto costosa e lunga. In alcuni casi, le tecnologie utilizzate sono invasive, come i display a testa montata (HMD), limitando il loro utilizzo in un luogo di lavoro reale [178; 180; 181]. Per rendere le simulazioni possibili a basso costo, Martin et al. [181] e Haggag et al. [182] ha sviluppato soluzioni interessanti per il monitoraggio degli utenti in tempo reale utilizzando Microsoft Kinect. Tale tecnologia non è invasiva e rende gli utenti interagire naturalmente con l'area di lavoro, mentre il software di analisi procede ai dati di tracciamento. Tuttavia, la sua applicazione è adatta a casi con movimenti dell'utente. Infine, la rassegna della letteratura ha sottolineato che la ricerca limitata si concentra su come scegliere la strategia di prototipazione più appropriata (ad esempio, prototipi virtuali, fisici o misti) e le tecnologie di simulazione più idonee per il contesto specifico dell'applicazione. Solo Battini et al. [161] ha proposto un quadro teorico per affrontare il problema della progettazione del sistema di assemblaggio, in combinazione con l'ottimizzazione ergonomica del luogo di lavoro, considerando sia i parametri tecnologici che quelli ambientali. Tuttavia, l'applicazione del metodo proposto è molto specifica e difficilmente trasferibile ad altri contesti. In generale, le aziende interessate a valutare l'ergonomia umana lungo i loro processi possono trovare numerose tecniche come liste di controllo e raccomandazioni, senza avere una guida precisa sulla scelta delle più appropriate e l'interpretazione congiunta dei risultati ottenuti.

4.4.2 LA METODOLOGIA DI MULTIPATH

La metodologia proposta consente di valutare le prestazioni ergonomiche nei luoghi di lavoro, grazie alla definizione di un insieme di fattori di rischio e dei parametri di valutazione appropriati, che guidano la scelta degli strumenti di valutazione e dei sistemi di misura più idonei. Tale metodologia mira ad essere generalmente applicabile a diverse fasi del processo produttivo. La metodologia inizia dall'analisi dei rapporti tra ergonomia e sicurezza e classificazione dei rischi per uno specifico caso di studio (passo 1) e per tutta la definizione dei parametri di valutazione (fase 2) e i metodi di valutazione (fase 3) definizione del set-up simulativo per la simulazione di processo specifica (fase 4) e l'identificazione del sistema di misurazione più appropriato per raccogliere i dati necessari (fase 5). È basato su un approccio strutturato per selezionare gli strumenti più idonei per la valutazione ergonomica di una determinata stazione di lavoro e definire un elenco di requisiti del sistema di progettazione. La Figura 1 mostra il cosiddetto Percorso Critico che rappresenta l'approccio proposto. I 5 passaggi sono descritti come (fig 39)

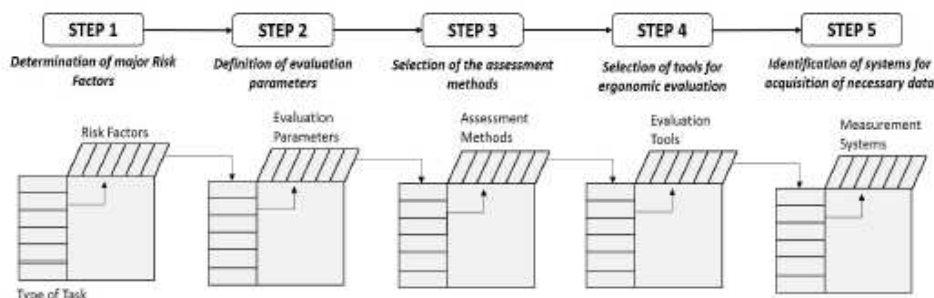


Fig 39 Metodologia a step

Fase 1 - Determinazione dei principali fattori di rischio L'analisi inizia dall'accurata analisi del luogo di lavoro, che è di fondamentale importanza per una corretta determinazione di tutti i fattori di rischio ergonomici che possono contribuire a basse prestazioni umane e di processo. In particolare, per determinare la causa dell'incidenza di MSD e ridurre sensibilmente la loro presenza, devono essere individuati i fattori principali della generazione del rischio e il loro effetto reciproco inteso. Infatti, non solo l'esposizione a un fattore di rischio ergonomico può causare o contribuire ad una vasta gamma di MSD, ma anche l'esposizione a diversi fattori di rischio che agiscono in combinazione può creare un pericolo specifico [157]. Di conseguenza, il primo passo si riferisce all'indagine delle principali caratteristiche del compito da svolgere e all'analisi dei fattori di rischio che possono influenzare il lavoratore. In generale, è possibile distinguere quattro categorie principali di compiti:

- lavoro ripetitivo
- caricamento di carichi
- tasse che comportano un elevato carico fisico di lavoro

- tassi che richiedono posizioni prolungate.

Tabella 1 riporta, per ognuna di queste categorie, alcuni esempi di attività di lavoro e i principali fattori di rischio dovuti alle esposizioni biomeccaniche e all'organizzazione del lavoro che li caratterizzano rispettivamente in base ai risultati di NIOSH [151] e Huang et al. [155].

		Example of task	Risk Factors	
			Biomechanical exposures (NIOSH, 1997)	Work organization (Huang et al., 2003)
Typology of Task	Repetitive Work	Assembly tasks (e.g., mounting part) Manufacturing tasks (e.g., cutting, shaping, threading, welding, grinding, press operations etc.) Packaging tasks (e.g., wrapping, packing, lifting, etc.)	Repetitive postures Awkward postures Static postures Contact stress Forceful exertions Heavy lifting Vibration Extreme temperatures	High job demands Low autonomy Low control and low stimulus from work High perceived stress Few rest break opportunities
	Loads Handling	Warehouse tasks (e.g., loading and unloading operations, etc.)	Repetitive postures Twisting and Carrying Loads Heavy lifting Awkward postures Static postures Extreme temperatures	High job demands Few rest break opportunities Low social support
	High Physical Workload	Maintenance service	Excessive forceful exertions Excessive heavy lifting Awkward (stopped) postures Static postures Vibration	High job demands Low social support Low autonomy High perceived stress
	Prolonged Positions	Jobs using VDTs	Awkward postures Static postures Contact stress	High job demands Low control and low stimulus from work Few rest break opportunities High perceived stress

Tab 8 Correlazione tra fattori di rischio e tipologia di attività

Lo studio considera principalmente due classi di fattori di rischio: esposizioni biomeccaniche e organizzazione del lavoro. In teoria, anche i fattori di rischio individuali non dipendenti dal lavoro dovrebbero essere considerati insieme con le esposizioni biomeccaniche e gli stress psicosociali dovuti all'organizzazione del lavoro, poiché contribuiscono congiuntamente all'incidenza di MSD [153]; tuttavia, l'analisi è stata limitata alle prime due classi perché lo studio si concentra sul progetto di workstation. Infatti, i fattori di rischio individuali non correlati al lavoro non dipendono in modo specifico dalle caratteristiche delle workstation, ma dipendono fortemente dalle caratteristiche del lavoratore, in modo che siano a priori

facilmente identificabili. Inoltre, non ci sono studi sufficienti per capire l'importanza reale di questi fattori a seconda delle varie tipologie di compiti [153].

Fase 2 - Definizione dei parametri di valutazione Per analizzare il pericolo reale a cui il lavoratore è esposto durante l'esecuzione di un'attività, a seconda dei fattori di rischio identificati, lo studio definisce un insieme corretto di parametri identificabili e misurabili per descrivere correttamente l'interazione tra lavoratore e la workstation. A tal fine vengono considerate due categorie di parametri: parametri umani (HP) e parametri di lavoro (WPs). Le HP considerano le informazioni per rappresentare la posizione del lavoratore (ad es. Posizioni del collo e del tronco, del ginocchio, delle spalle, del gomito o dell'avambraccio e del bacino) e per misurare il livello di affaticamento mentale (ad esempio, stress mentale, carico mentale e sonnolenza). Diversamente, i WP consentono di determinare le caratteristiche della workstation (ad esempio, condizioni di illuminazione e temperatura, presenza di vibrazioni, rumore, ostacolo che può causare stress di contatto) e compiti (ad es. Posizionamento statico richiesto, durata della postura, numero di ripetizione postura, frequenza, durata del lavoro, tempo di recupero, sforzo esercitato, distanza di movimento e entità del carico / forza). La tabella 8 definisce la selezione dei parametri più rilevanti, in base ai fattori di rischio identificati

Fase 3 - Selezione dei metodi di valutazione Lo studio ritiene che, in generale, la maggior parte delle lesioni muscolo-scheletriche origina quando i lavoratori sperimentano un certo disagio. Il senso del disagio è l'avviso precoce che alcune funzioni di lavoro non sono corrette e devono essere cambiate. Se tali segnali vengono ignorati, i fattori responsabili del disagio possono eventualmente portare ad un aumento della gravità dei sintomi, fino ai rischi. Per esempio, l'insorgenza di dolori e dolori lasciati indesiderati può provocare un grave

pregiudizio muscoloscheletrico, come tendinite, tenosinovite o lesioni gravi di compressione

		Risk Factors																	
		Repetitive postures	Awkward postures	Static postures	Awkward (stopped) postures	Forceful exertions	Contact stress	Twisting and Carrying Loads	Heavy lifting	Vibration	Extreme temperatures	Low autonomy	Low control and stimulus	Few rest break opportunities	High job demands	High perceived stress	Low social support		
Human Parameters	Postures	Neck and trunk	•	•	•	•	•	•	•										
		Knee	•	•	•	•	•		•	•									
		Shoulders	•	•	•	•	•		•	•									
		Elbow or forearms	•	•	•	•	•		•										
		Pelvis	•	•	•	•	•		•										
	Mental fatigue	Mental stress										•	•	•	•	•	•		
		Mental workload										•		•	•	•	•		
		Drowsiness										•	•	•	•	•	•	•	
	Workplace Parameters	Task	Duration of posture	•	•	•		•											
			Static posture		•	•													
			Task Duration	•		•				•		•			•	•			
			Repetition	•					•	•						•			
			Frequency	•					•	•	•	•				•			
		Recovery time	•	•	•		•	•	•	•		•			•				
		Forceful exertions	•	•	•		•		•										
		Load / Force	•	•	•		•		•	•									
		Distance of movement		•	•					•									
Workstation		Vibration	•	•	•					•									
	Cold/Hot temperatures	•	•	•				•	•		•					•			
	Contact stress	•	•	•			•												
	Illumination										•	•	•	•	•	•			
	Noise										•	•	•	•	•	•			

Tab 9 Correlazione tra fattori di rischio e parametri umani e parametri legati al luogo di lavoro

del nervo come la sindrome del tunnel carpale. Inoltre, il disagio influirà negativamente anche sulla prestazione del lavoro, riducendo la quantità di lavoro, diminuendo la qualità del lavoro attraverso un aumento dei tassi di errore o entrambi, causando una riduzione generale dell'efficienza del processo. In questo contesto, riducendo i livelli di disagio effettivamente

diminuisce il rischio di un pregiudizio che si verifica. Di conseguenza, i cambiamenti nei livelli di disagio possono anche essere usati per misurare il successo della progettazione di un prodotto ergonomico o l'attuazione di un intervento ergonomico del programma. La ricerca sull'ergonomia ha dimostrato che sono disponibili diversi metodi per la valutazione del disagio dei lavoratori e, di conseguenza, per la valutazione dell'esposizione ai rischi di MSD nei luoghi di lavoro. Una descrizione dettagliata dei metodi più comuni proposti in letteratura è riportata nell'appendice. In generale, la scelta dei metodi, il livello di precisione e la precisione dei dati necessari dipendono dalla natura e dall'obiettivo dell'analisi. In particolare si distinguono due principali classi di metodi: metodi di valutazione fisica e psicofisica [164]. I metodi fisici sono comunemente utilizzati per ottenere dati utili per evidenziare le caratteristiche delle postazioni di lavoro che provocano il disagio fisico dei lavoratori, al fine di ridurre i rischi di lesioni nella forza lavoro, in modo che siano essenziali per la valutazione dei fattori muscolo-scheletrici. I metodi psicofisici permettono di valutare in modo specifico il carico mentale e lo stress, che possono anche causare inefficienza, minore qualità e incidenti, come dimostrato da numerosi studi [183; 185].

Pertanto, per scegliere il metodo più adatto basato sull'obiettivo della valutazione, sono necessarie le seguenti azioni:

- Analizzare i parametri più rilevanti individuati nel passaggio 2. Se le HP considerate sono correlate solo alle specifiche posizioni e azioni intraprese dai lavoratori, possono essere utilizzati metodi fisici. Altrimenti, se HP si riferisce anche alla stanchezza mentale, anche metodi psicofisici devono essere adottati;
- Paragonare i metodi secondo la loro area di applicazione e le tipologie di posture, compiti e caratteristiche dell'ambiente di lavoro.

La Tabella 9 fornisce un esempio dei metodi che possono essere utilizzati in base ai parametri di valutazione identificati nel passaggio 2.

Considerare vantaggi e svantaggi di vari metodi alternativi. Tale analisi dovrebbe includere anche considerazioni sulle capacità e sulle risorse disponibili. Infatti, alcuni metodi sono idonei solo se utilizzati da ricercatori altamente qualificati e richiedono un ampio utilizzo di risorse (ad esempio, Rula, Reba, Plibel). Altre tecniche consentono una valutazione più generale basata sull'osservazione, che può essere eseguita meglio da parte dei professionisti della sicurezza e della salute, mentre altri metodi richiedono tempi e risorse limitati (ad esempio, Dmq, Pda, Rpe).

	Human factors										Workplace factors											
	Postures					Mental fatigue					Task					Workstation						
	Neck and trunk	Knee	Shoulders	Elbow or forearms	Pelvis	Mental stress	Mental workload	Drowsiness	Duration of posture	Static posture	Task Duration	Repetition	Frequency	Recovery time	Forceful exertions	Load / Force	Distance of movement	Vibration	Cold/Hot temperatures	Contact stress	Illumination	Noise
Physical methods	DMQ	*	*	*	*	*																
	OWAS	*	*	*	*										*							
	QEC	*	*	*	*										*							
	CHECKLIST	*	*	*	*	*			*	*												*
	PDA	*	*	*	*	*		*						*								
	RULA	*	*	*	*	*						*	*		*							
	RPE	*	*	*	*	*								*								
	NIOSH											*	*		*		*					
	MFA											*	*		*							
	PLIBEL	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*			*	*	*
	SI							*	*	*	*	*	*	*	*							
	OCRA			*	*			*	*	*	*	*	*	*	*							
	QEC	*	*	*	*	*					*	*	*	*	*		*					
	MGH												*	*	*		*					
	REBA	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*							
	LMM	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*							
	FIOH	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*							
	ACGIH	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*							
	LUBA	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*					
	HULDG	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
	MAC	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
Psychophysical assessment methods	EDA					*	*															
	EMG					*	*															
	HR e HRV					*	*					*	*	*	*							
	EEG/EOG/EMG					*	*															
	ERP					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	MEG & fMRI					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	ABPM					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	PERCLOS					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	LifeShirt					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	Observation	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	Interview	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	Verbal protocol	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	Focus Groups	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	HTA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	CDM	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	ACWA					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	SHERPA					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	TAFEI					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	Workload					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	MRTSM					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	CPA					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
	SAGAT					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							

Tab 10 Correlazione tra parametri umani, parametri legati al luogo di lavoro e metodi di valutazione del rischio muscolo-scheletrico

Fase 4 - Selezione dei sistemi di valutazione ergonomica Il passaggio 4 si riferisce alla scelta degli strumenti più ergonomici per l'ergonomia di valutazione. In questo contesto, lo studio considera diversi fattori, tra cui:

La fase del ciclo di vita durante l'esecuzione dell'analisi (ad esempio, progettazione concettuale, progettazione dettagliata, ridefinizione di una workstation esistente). Ad esempio, per condurre l'analisi durante le fasi iniziali di progettazione, quando un prototipo di workstation fisico non è disponibile, il modello CAD deve essere necessariamente utilizzato per implementare DHM. In caso contrario, per effettuare una valutazione dei rischi per i lavoratori già coinvolti nel processo produttivo, possono essere utilizzati strumenti basati su checklist;

I metodi di analisi scelti per effettuare la valutazione. A tal fine, la Tabella 11 consente di confrontare i diversi strumenti disponibili secondo i metodi di analisi.

Tools for ergonomics assessment	Evaluation methods																																																
	Physical																Psychophysical																																
	DMO	LOWAS	QEC	CHECKLIST	PDA	RULA	RPE	NIOSH	MFA	PUBBEL	SI	OCRA	QEC	REBA	LMIM	FIQH	ACGIH	LUJA	HELDIG	MAC	EDA	EMG	HR e HRV	EEG/EOG/EMG	IRP	MFG & FMRI	ABPM	PERCLOS	Likert	Observation	Interview	Verbal protocol	Focus Groups	HTA	CPM	ACWA	SHERPA	TAFEL	Workload	MRTSM	CWA	SAGAT							
JACK	•					•	•	•			•		•	•			•					•				•	•																						
DELMIA	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
CATIA	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
RAMSIS	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
3D SSPP	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
HumanCAD	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
AnyBody Modeling System	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
Ergointelligence	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					
OSTools	•					•	•	•			•		•	•			•					•					•	•																					

Tab 11 Correlazione tra metodi di valutazione e strumenti commerciali

Fase 5 - Identificazione delle tecnologie per la misura / acquisizione dei dati di input necessari. Quando sono stati definiti i metodi di valutazione e i parametri richiesti da ciascuna di esse, la metodologia consente di definire le tecnologie più idonee per misurare i parametri selezionati. Le tecnologie considerate hanno un diverso livello di complessità; dai cronometri semplici per misurare il tempo di recupero, ai sistemi di monitoraggio della frequenza cardiaca per misurare la fatica fisica, ai dispositivi di monitoraggio per misurare la posizione dinamica del lavoratore fino a sistemi complessi di elettromiografia per misurare l'impulso elettrico sul muscolo durante la tensione muscolare coppia e sensori di forza in grado di misurare la forza esercitata da ciascun segmento del corpo. La tabella 11 mostra le principali tecnologie di misura considerate nello studio e le relative caratteristiche. Inoltre, per avere soluzioni robuste per le aziende, l'adozione di tali tecnologie dipende fortemente dagli

strumenti disponibili sul mercato. Infatti, solitamente le aziende cercano applicazioni pronte per l'uso per risparmiare tempo e fatica nell'analisi. In questa direzione, la tabella 6 presenta il quadro di compatibilità tra le tecnologie di misura considerate (come nella tabella 5) e i principali strumenti di valutazione ergonomica disponibili sul mercato.

4.5 CASO STUDIO ELICA

Elica, azienda italiana nata nel 1970, utilizza l'arte, il design e l'innovazione per la produzione di alcune delle cappe più alto impatto visivo presenti sul mercato. La società sostiene che sta ridefinendo il tradizionale elettrodomestico da cucina come un oggetto tecnologicamente sofisticato, con un design unico che migliora la qualità della vita. Oggi Elica è leader mondiale, la produzione di 17 milioni di pezzi all'anno, con una quota di mercato del 17%. Nel mercato europeo si porta nella progettazione, produzione e commercializzazione di motori elettrici per cappe e riscaldatori. Nel 2010 il fatturato netto di Elica è stato di 368.3 milioni di Euro, che indica una crescita del 9.9% rispetto all'anno precedente, e del 4% nel corso degli ultimi due anni.

Elica si occupa della produzione di due differenti articoli: cappe e motori.

La divisione motori rende Elica il primo produttore all'interno del mercato europeo. I grandi risultati della società sono attribuibili a materiali di qualità, massimizzazione dell'efficienza nel prodotto finale e sviluppo di prodotti personalizzati. Entrambe le divisioni forniscono alcuni dei più grandi produttori del settore tra cui General Electric, Bosh e Whirlpool. Obiettivi primari di Elica sono l'innovazione, il design e l'investimento in capitale umano. L'azienda investe il 3% dei propri ricavi in innovazione e tecnologia e nel 2011 ha sostituito il 30% degli articoli a catalogo.



Fig 39 Logo Elica

Ma l'innovazione di Elica non si limita all'innovazione di prodotto. Come parte integrante della cultura presso l'azienda, l'innovazione si estende sul prodotto, processo e organizzazione con una particolare attenzione per l'ambiente di lavoro come priorità d'innovazione.

Anche il design è una parte fondamentale di tutto il processo di business in Elica. Si tratta di una società che produce prodotti di alta qualità che di per se sono forme d'arte. L'azienda ha incorporato i valori fondamentali della progettazione durante pratiche di gestione e nei suoi rapporti sia internamente che esternamente con il personale, con i clienti e la catena di fornitura.

Filosofia centrale della società è l'investimento in capitale umano. L'investimento in formazione, combinata con una serie di innovazioni di organizzazione del lavoro, è svolto a creare una cultura unificata. Il riconoscimento dell'impegno di Elica per la progettazione, l'innovazione e il capitale umano è evidente dall'acquisizione di numerosi riconoscimenti all'interno di ciascuna di queste categorie. Tra questi è possibile notare il premio della Work Institute che ha riconosciuto Elica come numero uno nella categoria delle grandi aziende presso cui lavorare in Europa. Inoltre, Elica è stata inclusa anche tra i Top Employers Italia 2011, al fianco delle multinazionali come Microsoft e Luxottica.

L'azienda attua tre strategie riguardanti le risorse umane: internazionalizzazione, innovazione e sviluppo del marchio. Il principio alla base e il meccanismo principale per far avanzare queste strategie HR è la partecipazione dei lavoratori, Elica ritiene che tutti i dipendenti posseggono un loro potenziale individuale che può contribuire allo sviluppo aziendale qualora venga data agli operatori la possibilità di esporre le proprie idee. Questi concetti sono facilmente riconoscibili alla filosofia di miglioramento continuo che sta alla base del Word Class Manufacturing – WCM.

Il WCM, programma di innovazione basato sul miglioramento continuo, è un sistema integrato di derivazione giapponese, un nuovo modo di lavorare che prevede l'eliminazione di ogni spreco e perdita attraverso il coinvolgimento di tutto, con impegno rigoroso e metodi standard.

I fattori primari di cambiamento che portano all'avvicinamento a questo tipo di approccio sono :

- Progressiva riduzione del ciclo vita del prodotto
- Difficoltà nelle previsioni della domanda
- Impossibilità derivante nel dimensionare il carico in ingresso al sistema
- Aumento della gamma di prodotti richiesti dal mercato
- Competizione crescente da parte dei concorrenti dei paesi emergenti difficilmente contrastabili sul fronte dei costi.

Si impone quindi di rivedere radicalmente il processo produttivo al fine di rispondere con successo alle nuove criticità di mercato. Occorre quindi analizzare e, se possibile, eliminare gli sprechi nei trasferimenti, nelle movimentazioni, nelle scorte, nei controlli, nei difetti nelle riparazioni che rappresentano le parte più consistente dei costi sostenuti senza corrispondere ad alcun valore aggiunto al cliente. Il termine Word Class Manufacturing fu introdotto nel 1986 da R.Schonberg [185] , il quale raccolse decine di casi in cui le aziende agirono in modo tale da procurare un miglioramento continuo verso l'eccellenza dalla produzione e ne propose una sistematizzazione concettuale che prende spunto dalle tecniche base del "just in time". Si ha, quindi, nell'approccio ai problemi, una semplificazione ed azione diretta: rilevazione, valutazione, misurazione, diagnosi, risoluzione diretta in fabbrica dei problemi, senza aspettare i fatti a consuntivo ottenuta a posteriori, quando non è più possibile intervenire.

Il WCM prende in considerazione concetti quali:

Total Quality Control
Total Productive Maintenance
Total Industrial Engineering
Just in time
Lean Manufacturing

Lo scopo principale di questa filosofia è dunque quello di essere vincenti con Prodotti di ottima qualità a prezzi competitivi, rispondendo alle esigenze del cliente, assicurando la massima flessibilità. Ci sono dei punti fermi in questa filosofia quali: zero difetti, zero guasti, riduzione del magazzino, consegna tempestiva da parte del fornitore allo stabilimento e quindi all'utente finale. La storia insegna che la più grande risorsa a disposizione di un'azienda non è la tecnologia, ma sono le persone. Concentrarsi su di esse dando loro la possibilità di utilizzare al massimo il loro potenziale è la chiave per la competitività World-Class. Un'azienda non potrà mai "snellire tutto" senza essersi concentrata sullo sviluppo di potenziale umano[185].

- Zero insoddisfazione del cliente;
- Zero disallineamenti;
- Zero burocrazia;
- Zero insoddisfazione degli azionisti;
- Zero sprechi;
- Zero lavoro che non crei valore;
- Zero fermate;
- Zero opportunità perse;
- Zero informazioni perse.

Il controllo qualità totale, il Just in Time, i Circoli di Qualità, il sistema dei suggerimenti, il processo tecnologico sono state le cause principali della crescita produttiva del sistema industriale giapponese.

Tuttavia la vera fonte dell'evoluzione dell'industria giapponese va ricercata a monte di questi cambiamenti a livello del sistema produttivo. Essa si trova nel vecchio principio filosofico ; ogni cosa merita di essere migliorata.

E' sull'applicazione sistematica e metodica di questo semplice principio che si è basata tutta la crescita economica del Giappone. Mentre nella cultura occidentale il miglioramento viene per lo più perseguito con operazioni drastiche di cambiamento da cui sia spetta un immediato ritorno dell'investimento, in Giappone il miglioramento è visto come un processo continuo e graduale. Più precisamente viene visto nel vero significato del termine giapponese "Kaizen." Nell'ambito industriale/produttivo il miglioramento produttivo coinvolge l'intera struttura aziendale (dirigenti, quadri, operai) allo stesso modo ed è suddiviso essenzialmente in due fasi: il kaizen e l'innovazione.

In conclusione. È importante definire i 10 pilastri tecnici del WCM [185]

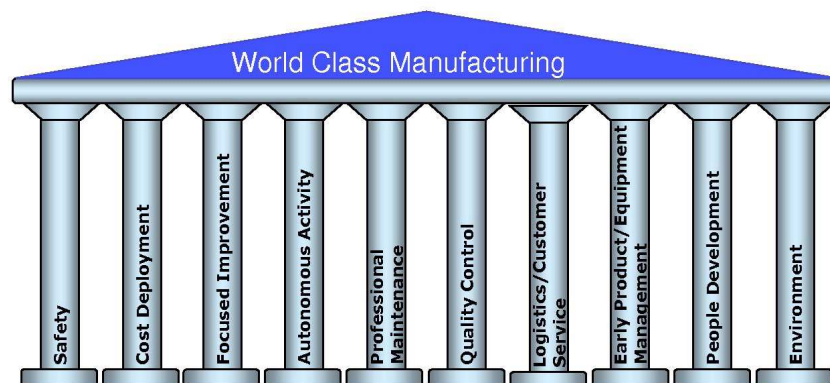


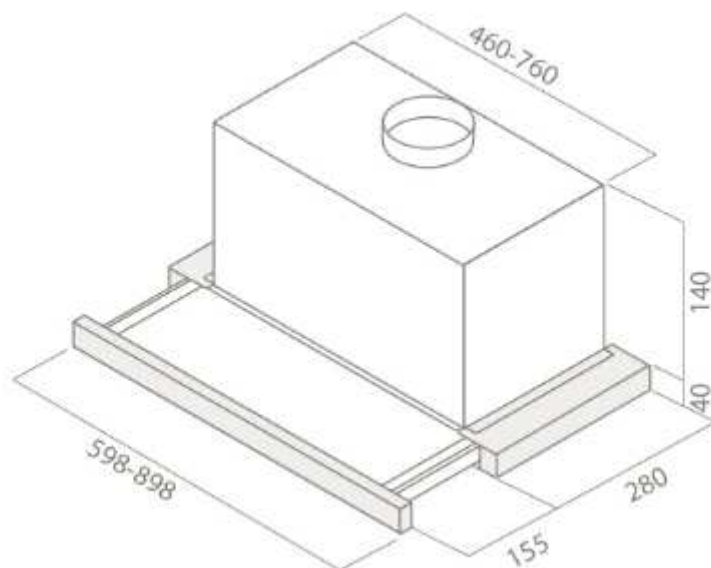
Fig 40 Pilastrini della World Class Manufacturing

Il prodotto preso in esame è



Fig 41 Foto prodotto cappa ELITE 14

Elite 14 è una cappa aspirante ad incasso con finitura silver + acciaio inox o bianco disponibile nelle versioni STD o nelle versioni LUX con illuminazione alogena integrata, 2x28W.



ELITE 14

VERSIONE LUX

MISURE (CM)	60 - 90
FINITURE/COLORI	SILVER + ACCIAIO INOX, BIANCO
VERSIONE	ASPIRANTE
COMANDI	PULSANTIERA MECCANICA 3V
ILLUMINAZIONE	HALO 2X28 W
PORTATA IEC (M3/H)	145-336
LIVELLO SONORO DB(A)	47-65
LIVELLO SONORO DB(A)	47-65
ASSORBIMENTO (W)	130
USCITA (MM)	120

4.2.1 STUDI PRELIMINARI

La linea produttiva presa in considerazione come caso studio riguarda l'assemblaggio del prodotto Elica 14. Una prima analisi si basa sul reperimento delle informazioni riguardanti turni di lavoro e la loro ripartizione in periodi di attività effettiva e periodi di riposo

Turno 8 ore

Riposo 10 min + 30 min di pausa pranzo

Periodo operativo 7 ore 20 minuti

Successivamente si focalizza l'attenzione sulla linea di assemblaggio. Si individuano cinque differenti stazioni:

Le prime 3 riguardano l'assemblaggio manuale del prodotto (presidiate da 1 operatore ciascuna);

La quarta riguarda il collaudo automatico (non presidiata);

La quinta riguarda l'assemblaggio degli ultimi elementi e l'imballaggio del prodotto.

Di conseguenza il numero di operatori per linea è pari a 4, il tempo ciclo è pari a 1.19 minuti per cui complessivamente, si riescono ad realizzare 50.42 prodotto/ora.

Tali dati sono stati rilevati dai fogli delle operazioni forniti per ogni stazione di assemblaggio dell'azienda (fig 43)

ID Labor Instructions : ASSY TT14 , ST2
Elba

Balance:	M000081_04 :: TT_14 COLLAUDO AUTOMATICO	Number of Operations:	4,00
Product Mfg:	Single Product	Takt Time Minute s:	1,1800
Routing Group:	M000081	Production per Hour (pech):	50,4203
Work Center:	05570		
Part Number:	FRF00253048		
	PEF00555908		
	FRF00570005		

	Description of Labor	Labor Instruction
1	ASSEMBLAGGIO MOTORE/CASSONE	
2	AFFERRARE PROTEZIONE METALLO E POSIZIONARE SU LINEA	
3	PIEGARE 4 LINGETTE SU PROTEZIONE	
4	PRENDERE CASSONE ED INSERIRE SU PROTEZIONE	
5	AFFERRARE CASSETTO ED INSERIRE SU CASSONE	
6	INCASTRARE PROFILO DX E SX SU CASSONE	
7	PRENDERE 2 VITI	
8	AFFERRARE AVVITTOLE ED AVVITARE 1 VITE	
9	AVVITARE 1 VITE AGGIUNTIVA	
10	RIPORRE L'AVVITTORE	
11	AFFERRARE BLOCCO CAVO ED INCASTRARE SU CASSONE	
12	AFFERRARE GRUPPO MOTORE E POSIZIONARE NEL CASSONE	
13	RIPORRE CONTENITORE GRUPPO MOTORE	
14	AFFERRARE CONNETTORE ALIC E COLLEGARE CON GRUPPO MOTORE	
15	SISTEMARE GRUPPO MOTORE NEL CASSONE	
16	PRENDERE 2 VITI	
17	AFFERRARE AVVITTOLE ED AVVITARE 1 VITE	
18	AVVITARE 1 VITE AGGIUNTIVA	
19	RIPORRE L'AVVITTORE	
20	AFFERRARE CAVO CAVO E POSIZIONARE SU BLOCCO CAVO	
21	CHILDERE BLOCCO CAVO	
22	AFFERRARE ED AVVITARE 2 LAMPADINE	

Fig 43 Attività ciclo di assemblaggio

Note le operazioni svolte all'interno di ogni singola stazione, è stato possibile realizzare una modellazione qualitativa delle funzioni mediante formalismo IDEF0. In questo modello vengono messe in relazione input, output, risorse e vincoli relativi ad ogni fase di produzione. Il modello, al primo livello, è riportato in (fig 44)

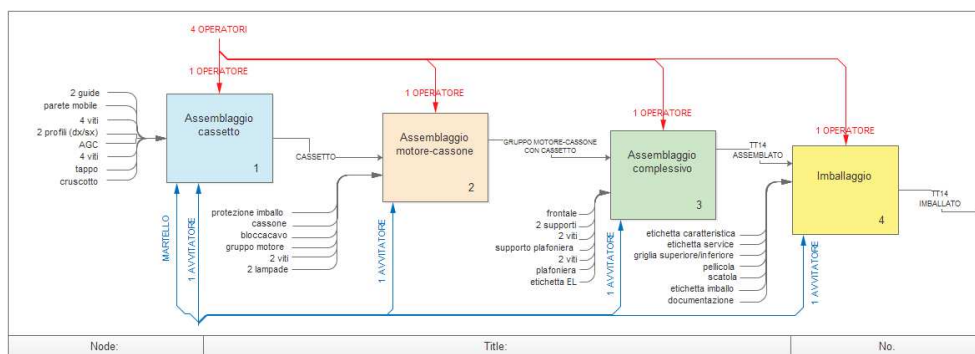


Fig 44 IDEF0 ciclo di assemblaggio

Dalla prima analisi delle attività svolte, la stazione critica per quanto riguarda l'ergonomia dell'operatore è la postazione n.2 che comporta il sollevamento di carichi (gruppo aspirante) posti in basso rispetto al piano di lavoro e lo spostamento di oggetti che talvolta possono trovarsi in posizioni non confortevoli rispetto al piano di lavoro.

4.2.2 RILIEVI ON-SITE

A termine della fase di studio preliminare, è stata eseguito un rilievo in stabilimento che permettesse l'acquisizione dei dati necessari per la conseguente modellazione ed analisi ergonomica eseguita grazie all'ausilio del software di simulazione Delmia V5 R20 (Dessault Systemes).

Set-up di misurazione

Il set-up utilizzato per l'acquisizione è basato su due fotocamere. Sono state utilizzate su ogni postazione in modo tale da rendere possibile la rilevazione e l'analisi delle attività da una duplice prospettiva.

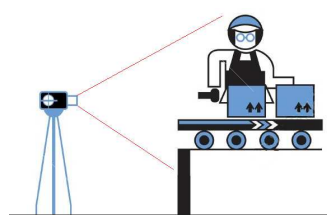


Fig 45 Layout camere

Ogni acquisizione video ha durata di 10 minuti circa; la scelta dell'arco temporale è dettata dalla necessità di ottenere un numero relativamente consistente di assemblaggi in grado di

rendere la misurazione il più attendibile possibile. Per la disposizione topologica delle fotocamere in stabilimento si fa riferimento agli schemi di fig 45, 46, 47.

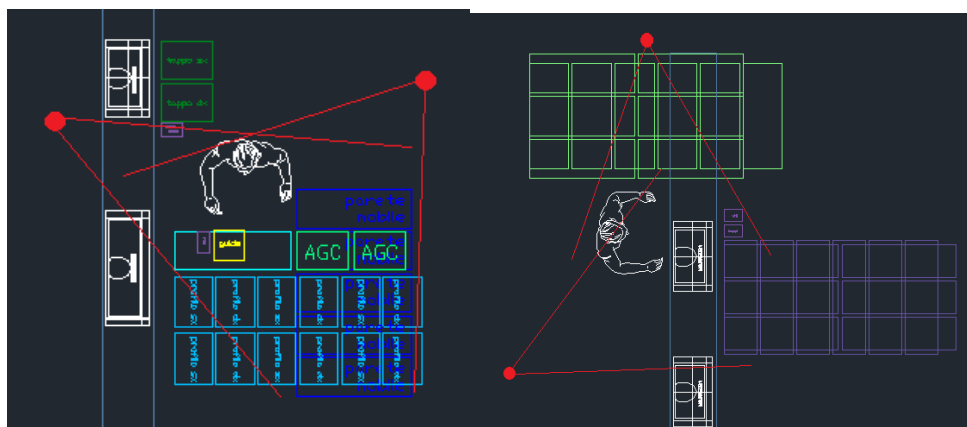


Fig 46 Layout stabilimento stazioni 1-2

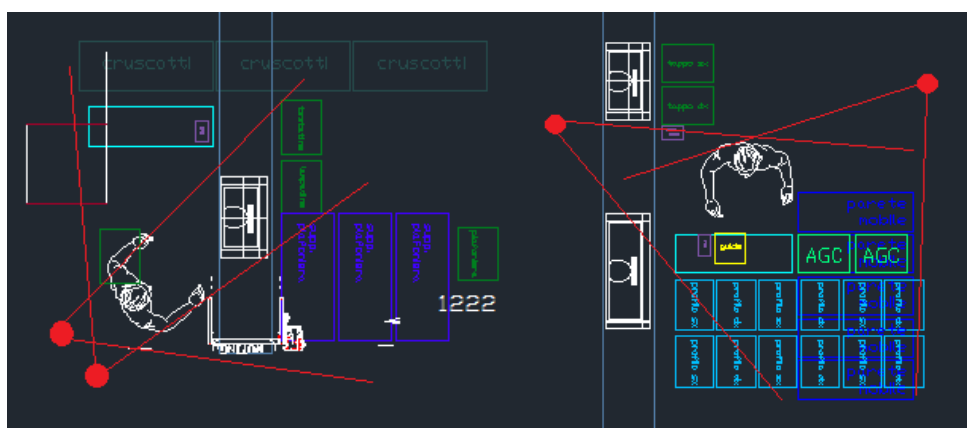


Fig 47 Layout stabilimento stazioni 3-4

Con i punti rossi sono state rappresentate le posizioni delle fotocamere e i relativi angoli di visuale. Il layout dello stabilimento è stato fornito dall'azienda.

Questionario semi-strutturato:

Una prima analisi, seppur approssimativa, è stata effettuata attraverso un'intervista semi strutturata agli operatori le cui risposte sono fornite basandosi su una scala di valori compresi da 1 a 5.

E' possibile raggruppare le domande in tre differenti macro gruppi in relazione agli argomenti trattati:

- Soddisfazione riguardo sicurezza ed organizzazione della postazione di lavoro
- Soddisfazione riguardo le condizioni ambientali (illuminazione, temperatura)
- Condizioni fisiche a termine del turno di lavoro (dolori muscolari e articolari dovuti a sollecitazioni specifiche)

Dall'elaborazione delle risposte raccolte in stabilimento si ottengono risultati riassunti:

L'ambiente risulta confortevole sia a livello termico che a livello di illuminazione

La sequenza delle operazioni da svolgere non comporta fatica mentale (le operazioni seppur ripetitive sono agevolate dal layout di ogni stazione)

La maggior parte delle posture assunte dagli operatori vengono ritenute ergonomicamente non rischiose, fatta eccezione per la stazione numero 2 per cui si ha il sollevamento del gruppo aspirante posto in basso e il raggiungimento del cassetto assemblato nella stazione 1 posta sul ripiano non facilmente fruibile.



Fig 48 Foto stabilimento stazioni 1-2



Fig 49 Foto stabilimento stazioni 3-4

Il risultato del questionario denota che la postazione ergonomicamente più sfavorevole è la stazione n.2

A seguito di queste nozioni si concentra lo studio sulla stazione numero 2 e su di essa si effettua l'analisi ergonomica per tutte le postture a cui l'operatore è soggetto, ponendo particolare attenzione a quelle ritenute più rischiose.

4.2.3 MODELLAZIONE E SIMULAZIONE DEL PROCESSO

Risultato del percorso a step descritto al capitolo 4.4 è stato l'utilizzo del software DELMIA per l'analisi del caso studio. Dassault Systèmes è una società europea del settore software che sviluppa soluzioni di progettazione in 3D, digital mock-up in 3D e gestione del ciclo vita del prodotto (PLM). Elemento essenziale della piattaforma 3DEXPERIENCE è la connessione tra il prototipo virtuale e quello reale.

Per raggiungere l'efficienza operativa, è necessario che design, produzione, distribuzione, persone e processi siano tutti reciprocamente in armonia. Con Delmia è infatti possibile progettare e testare prodotti in un ambiente di produzione simulato e al termine pianificare, produrre e gestire in modo efficiente tutte le risorse, dal personale alla produzione fino alla consegna al cliente.

Tra le varie funzionalità ce ne sono 3 particolarmente indicati in caso di analisi:

ERGONOMIST consente una maggiore precisione delle dimensioni antropometriche standard per i manichini virtuali offrendo la possibilità di creare una vasta gamma di manichini "limite", le popolazioni mirate, e gli individui specifici da utilizzare per le valutazioni che richiedono maggiore precisione. Tramite questa funzione è possibile:

- personalizzare l'antropometria del manichino virtuale;
- utilizzare una più vasta gamma di percentili per differenti popolazioni;
- Ottenere una definizione delle lunghezze variabili automaticamente.

ERGONOMICS SPECIALIST integra i requisiti ergonomici nelle prime fasi di progettazione del prodotto e della postazione di lavoro con l'ausilio di manichini virtuali inseriti all'interno di un modello 3D. Grazie a questa funzionalità si rendono possibili analisi per la valutazione dell'ergonomia, della sicurezza del lavoratore e delle sue prestazioni. Questo riduce la necessità di costi prototipi fisici.

Attraverso questa funzione è possibile:

- Valutare la progettazione di prodotto e workplace integrandolo con fattori umani ed ergonomici
- Rilevare potenziali infortuni sul lavoro nelle prime fasi del processo di progettazione
- Acquisire e ri-utilizzare gli standard ergonomici aziendali.

WORK SAFETY ENGINEER rende semplicemente le operazioni più comuni utilizzando azioni predefinite come ad esempio raccogliere e sistemare gli oggetti, camminare, gestire un dispositivo o utilizzare uno strumento. Attraverso questa funziona è possibile:

- risparmiare sui costi grazie alla precoce integrazione dei fattori umani nella progettazione dei prodotti e del posto di lavoro
- ridurre il rischio di infortuni

- acquisire e ri-utilizzare gli standard ergonomici aziendali

Modellazione workplace e simulazione attività

Passo successivo per effettuare l'analisi è la modellazione del processo con l'ausilio del software. A partire dal layout dello stabilimento fornito dell'azienda si modella la stazione d'interesse e si inseriscono le risorse necessarie per l'assemblaggio del prodotto fini ad ottenere un prototipo virtuale come quello di fig 50

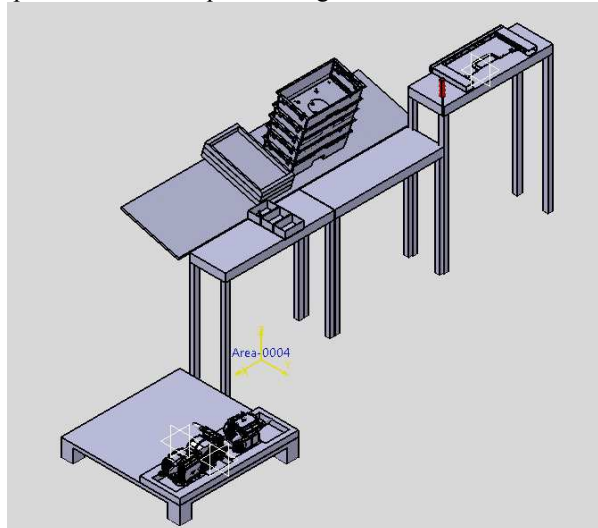


Fig 50 Modello stazioni di assemblaggio

Il processo di modellazione deve far sì che il modello virtuale rispecchi identicamente il workplace reale in ogni dettaglio; distanza, disposizione degli strumenti, dislocazione dei semilavorati da assemblare, ect. Si procede all'inserimento del manichino virtuale (manikin) attribuendo le caratteristiche antropometriche relative al soggetto da analizzare (fig 51)

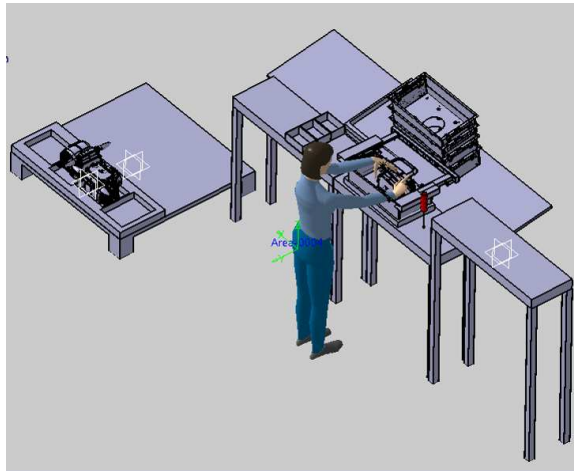


Fig 51 Modello stazioni di assemblaggio con Virtual Manikin

Nel caso studio, l'antropometria del manichino corrisponde al quinto percentile calcolato per le donne europee. La scelta di queste caratteristiche deriva dalla necessità di analizzare la postura ergonomica durante lo svolgimento delle attività lavorative, di effettuare un'analisi di raggiungibilità.

A questo punto si procede con la simulazione di processo riproponendo ciascuna delle specifiche attività svolte dall'operatore sul manichino virtuale. Al termine della simulazione sarà possibile confrontare le tempistiche reali richieste dal processo con quelle individuate dal software per l'esecuzione della totalità delle operazioni.

Per lo specifico caso studio le tempistiche reali, quelle pervenute dal software e i dati aziendali forniti riguardanti i tempi ciclo sono coerenti, con discostamenti che non superano i 9 secondi.

4.2.4 ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DEI RISULTATI

Dopo aver modellato la postazione di lavoro ed aver riprodotto e simulato il processo si procede con le analisi ergonomiche.

L'analisi posturale effettuata in questo studio si compone di un'analisi ergonomica tramite il metodo RULA, di un'analisi di visibilità e di un'analisi di raggiungibilità. Per le operazioni che implicano il sollevamento di oggetti pesanti, si effettua anche l'analisi ergonomica tramite il metodo NIOSH per il calcolo del carico massimo sollevabile tenendo conto della postura iniziale del movimento, del periodo di lavoro e del numero di ripetizioni per minuto. Le posizioni corporee prese in esame per il caso studio sono 14 rispetto alle 22 attività realmente eseguite dall'operatore nella stazione n.2.

Sono state eliminate dallo studio le azioni di riposizionamento dei contenitori (frequenza minore) vuoti e le operazioni che presentano simmetria rispetto alle azioni analizzate.

Delle 14 attività analizzate, 4 risultano critiche: per 3 di esse sono state trovate soluzioni che migliorano l'ergonomia senza comportare sconvolgimento del workplace, per la restante (afferrare l'avvitatore) non è possibile attuare migliorie in quanto uno stravolgimento della postazione di lavoro porterebbe sì ad un miglioramento ergonomico in questa operazione ma sarebbe causa di peggioramenti per le posture a seguire.

Afferrare la protezione

La prima postura che si analizza è quella che riguarda l'attività di "afferrare la protezione"



Fig 52 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

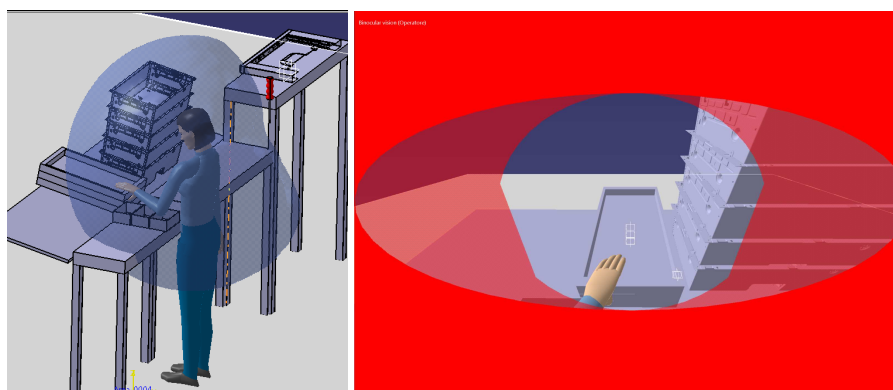


Fig 53 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

La postura assunta dall'operatore per lo svolgimento di questa operazione è ergonomicamente compatibile, infatti dall'analisi RULA (fig 54) i segmenti corporei non sono stressati, e assumono un valore globale idoneo. L'analisi di visibilità ci conferma una corretta visione di tutti gli oggetti in uso. L'analisi di raggiungibilità evidenzia la presenza degli oggetti in uso all'interno dell'involuppo dei punti di raggiungibilità. La postura non ha necessità di revisione e/o modifiche.

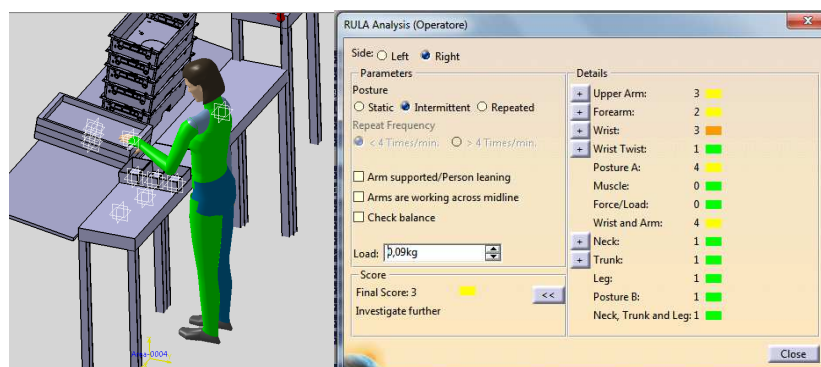


Fig 54 Analisi ergonomica RULA

Posizionare cassetto su cassone:
 Altra postura analizzata è quella relativa all'attività di "posizionare casse su cassone"



Fig 55 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

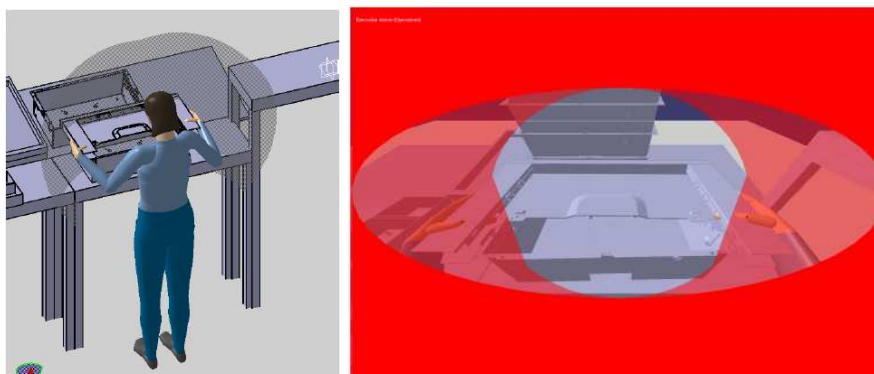


Fig 56 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

La postura assunta dall'operatore per lo svolgimento del compito di questa operazione è compatibile. La fig 57 ci conferma che i parametri ricadono all'interno di un punteggio finale calcolato con la RULA compatibile con l'attività, ad eccezione fatta per il polso, che risulta moderatamente sollecitato ed il collo che per consentire una adeguata orientazione del campo visivo, risulta lievemente sollecitato.

Dall'analisi di visibilità è rilevata una corretta visione di tutti gli oggetti in uso, l'analisi di raggiungibilità evidenzia la presenza degli oggetti in uso all'interno dell'involuppo dei punti di raggiungibilità.

La postura non ha bisogno di revisione e/o modifiche immediate.

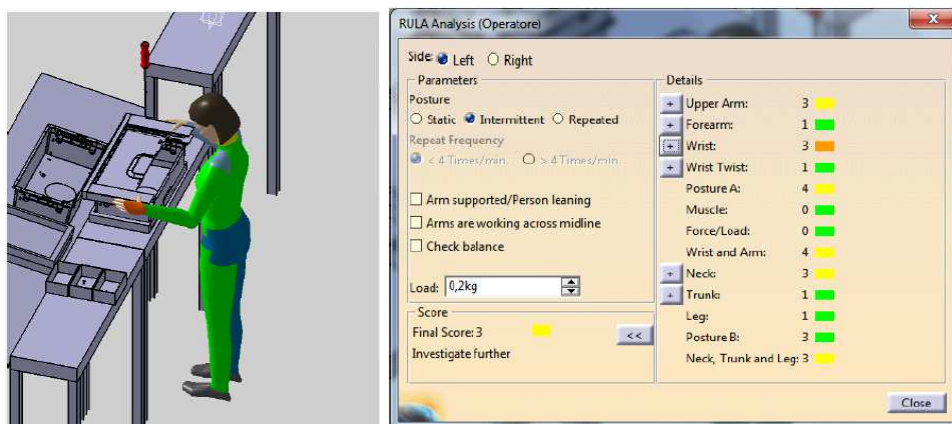


Fig 57 Analisi ergonomica RULA

Afferrare avvistatore

La postura analizzata riguarda l'attività di "afferrare l'avvitatore".



Fig 58 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

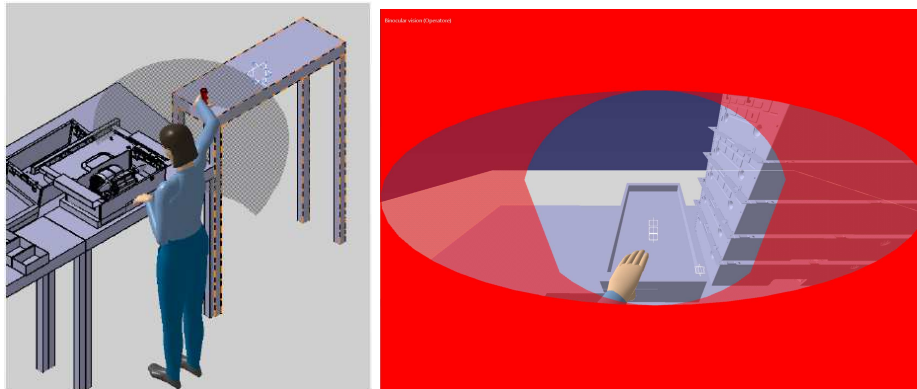


Fig 59 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

La postura assunta dall'operatore per lo svolgimento di questa operazione è ergonomicamente incompatibile.

L'analisi RULA denota fig 60 che i segmenti corporei interessati durante il movimento appaio rossi, indice di una postura scorretta. Dall'analisi di visibilità è rilevata una corretta visione di tutti gli oggetti in uso, l'analisi di raggiungibilità evidenzia la presenza degli oggetti in uso all'interno del involucro dei punti di raggiungibilità.

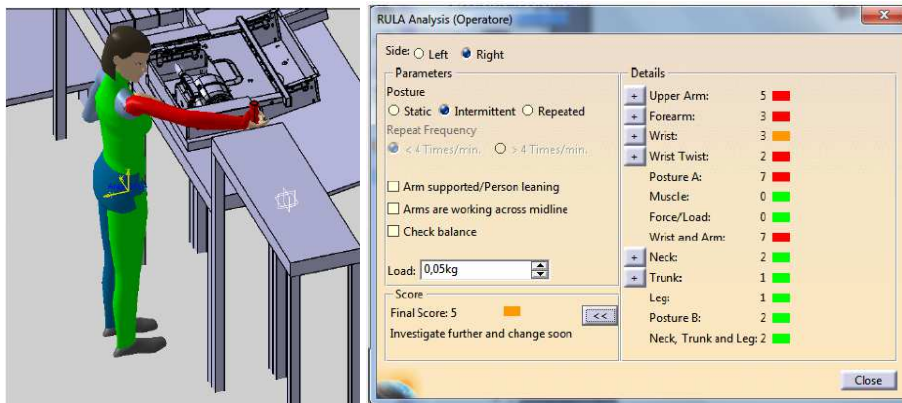


Fig 60 Analisi ergonomica RULA

La postura ha bisogno di revisione.

Tuttavia non è possibile attuare migliore in quanto uno stravolgimento della postazione di lavoro porterebbe ad un miglioramento ergonomico in questa postura ma forti peggioramenti nelle posture successive.

Afferrare cassetto :

Valutazione ergonomica dell'attività di "afferrare cassetto"



Fig 61 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

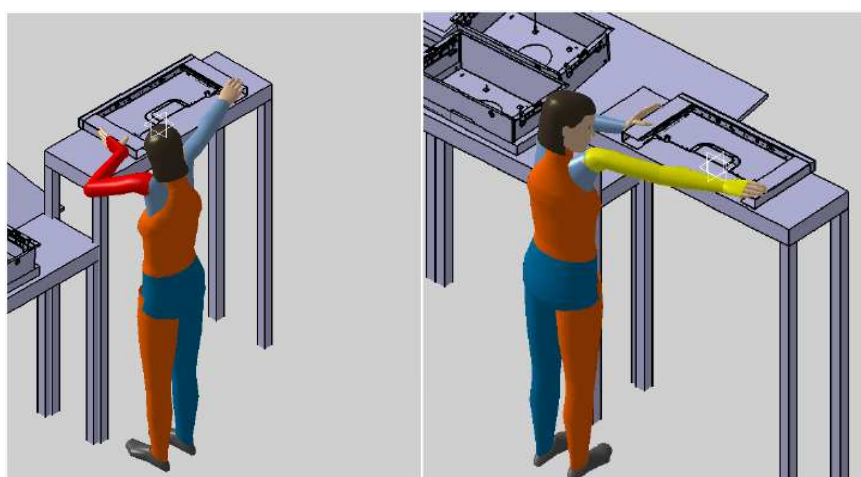


Fig 62 Analisi ergonomica RULA

Le analisi di visibilità (fig 63) e l'analisi di raggiungibilità (fig 63) sono nei limiti di accettabilità dal punto di vista ergonomico la postura assunta dall'operatore per lo svolgimento di questa operazione è ergonomicamente incompatibile. Dall'analisi RULA (fig 64) i segmenti corporei interessati durante il movimento appaio colorati in rosso per la parte sinistra del corpo. Per questa postura si ipotizza ottimizzazione.

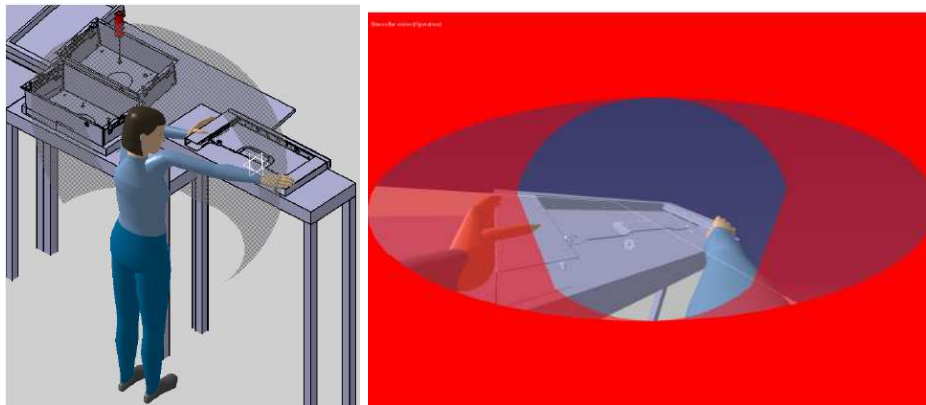


Fig 63 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

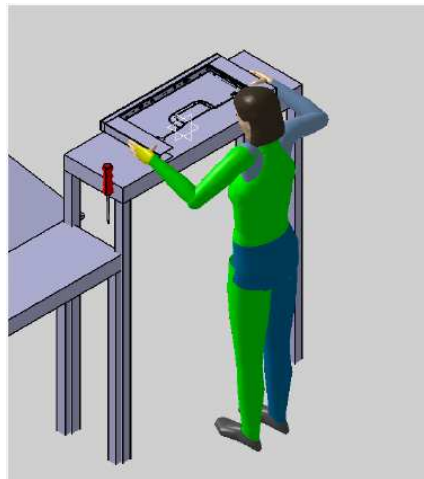


Fig 64 Analisi ergonomica RULA

Ponendo il corpo frontalmente rispetto all'oggetto da sollevare (fig 64), gli arti superiori risultano sollecitati in maniera simmetrica e con minore intensità, questo comporta un dispendio minore di energie. Globalmente si ottiene un netto miglioramento ergonomico. Ponendo a confronto le tabelle (fig 65) e (fig 66) vengono poste in risalto le sollecitazioni dei vari segmenti.

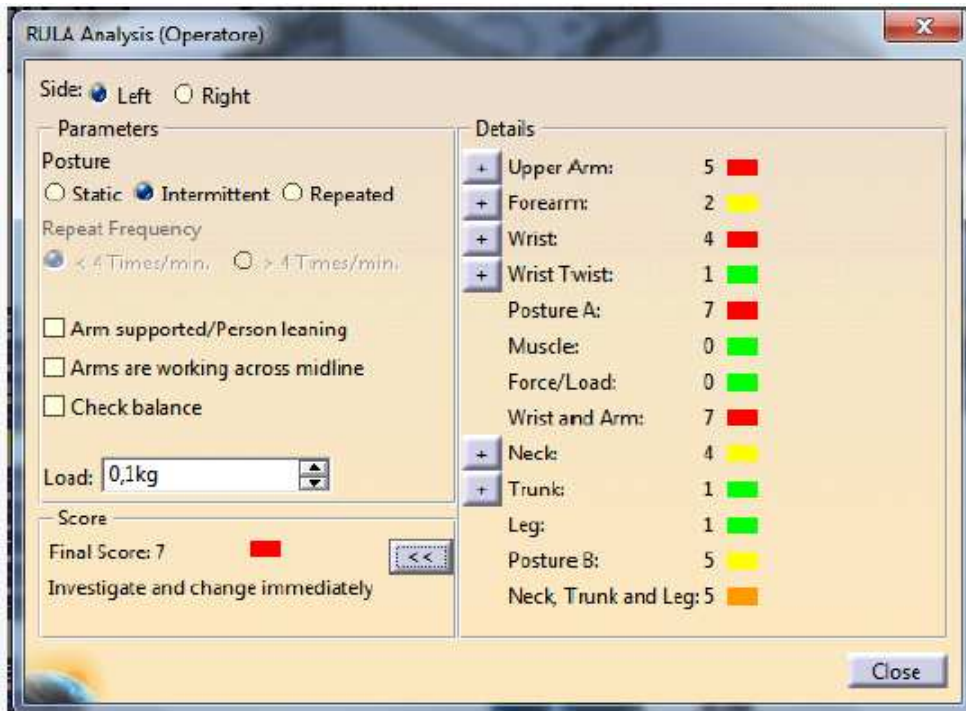


Fig 65 Analisis ergonomica RULA

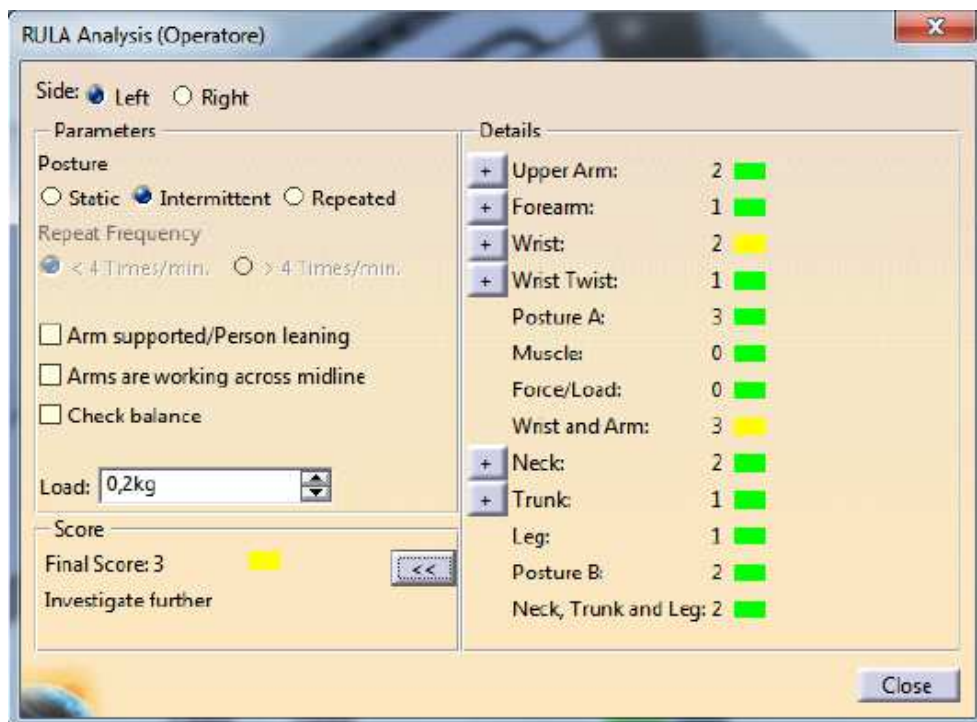


Fig 66 Analisi ergonomica RULA migliorata

In fig 67 vengono riportati i valori di analisi prima e dopo l'ottimizzazione per ogni singolo segmento principale.

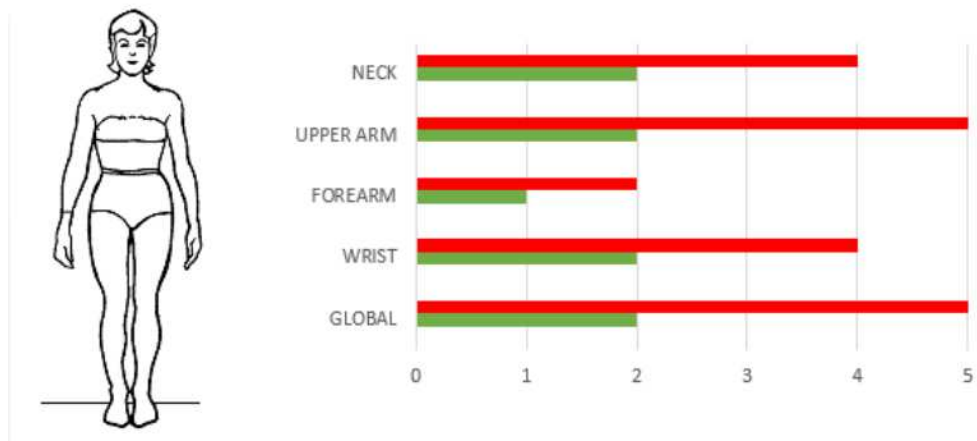


Fig 67 Analisi ergonomica RULA comparativa

Aprire il cassetto

Si valuta ora l'attività di "aprire il cassetto"



Fig 68 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

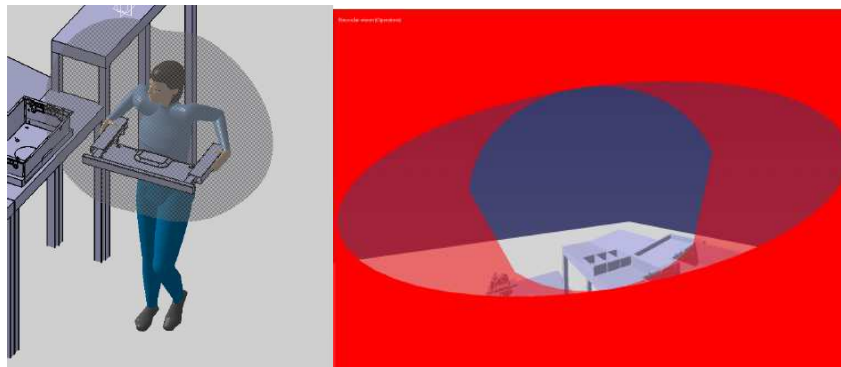


Fig 69 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

Le analisi di visibilità (fig 69) e l'analisi di raggiungibilità (fig 69) sono nei limiti di accettabilità dal punto di vista ergonomico. Invece la postura dell'operatore per lo svolgimento di questa operazione è ergonomicamente incompatibile. Dall'analisi RULA (fig 70) i segmenti corporei interessati durante il movimento appaio colorati in rosso per la parte sinistra del corpo. Per questa postura si ipotizza ottimizzazione.

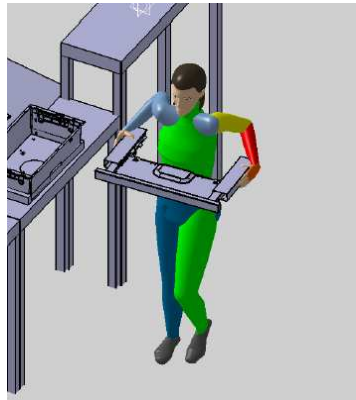


Fig 70 Analisi ergonomica RULA

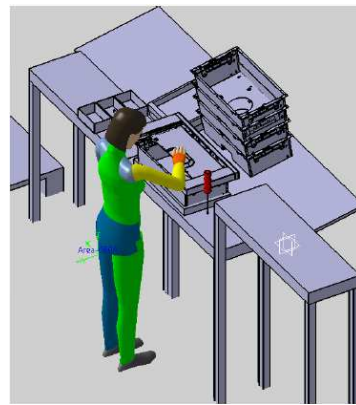


Fig 71 Analisi ergonomica RULA

Per questa operazione si ipotizza una totale variazione della postura per l'esecuzione dell'operazione.

La postura ottimizzata prevede l'apertura del cassetto dopo aver posizionato sul cassone. L'operazione viene svolta grazie ad una spinta con la mano destra sulla parete del mobile. Questo comporta una migliore ergonomia del movimento ma un maggior tempo ciclo. Globalmente si evidenzia un miglioramento dell'ergonomia. Ponendo a confronto le (fig 73) vengono comparate le sollecitazioni dei vari segmenti per la posizione reale e la posizione ottimizzata.

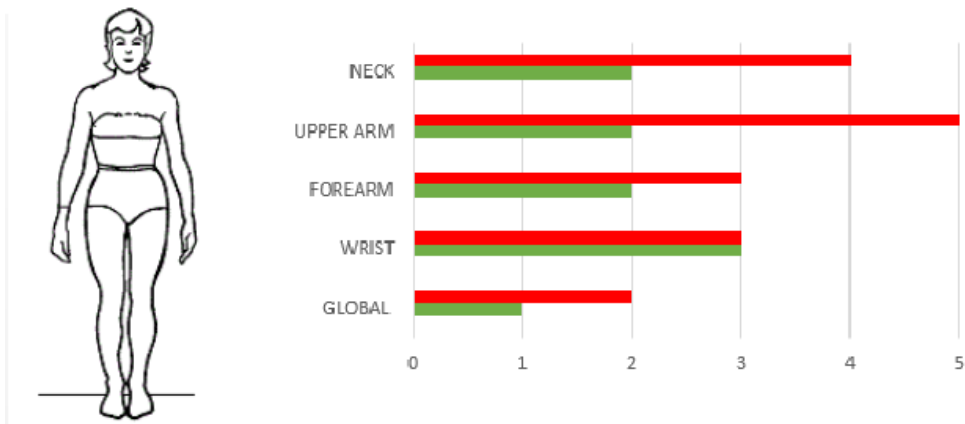


Fig 72 Analisi ergonomica RULA comparativa

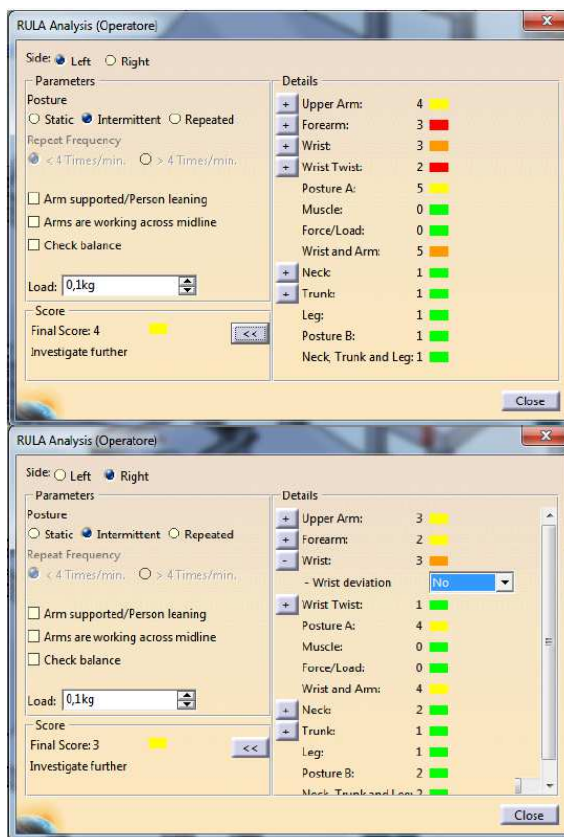


Fig 73 Analisi ergonomica RULA comparativa

Sollevare gruppo aspirante

Si analizza la postura riguardante l'attività "sollevare gruppo aspirante"



Fig 74 Operatore in esecuzione attività di assemblaggio

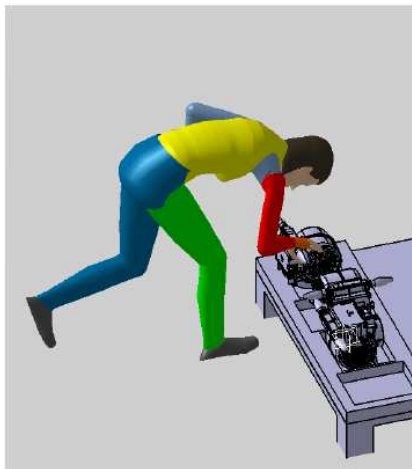


Fig 75 Analisi ergonomica RULA

Si evidenzia una condizione di disagio elevato; la postura assunta dall'operatore per lo svolgimento di questa operazione è ergonomicamente incompatibile. Dall'analisi RULA (fig 75) i segmenti corporei interessati durante il movimento appaio di colore rosso, indice di una

postura scorretta. Per questa postura si ipotizza una ottimizzazione attraverso una variazione delle posture definite per svolgere l'attività.
Si ipotizza una totale variazione della postura per l'esecuzione dell'operazione.

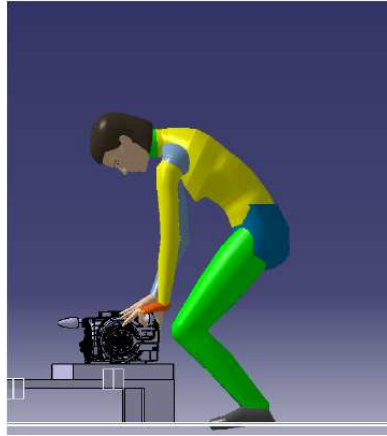


Fig 76 Analisi ergonomica RULA

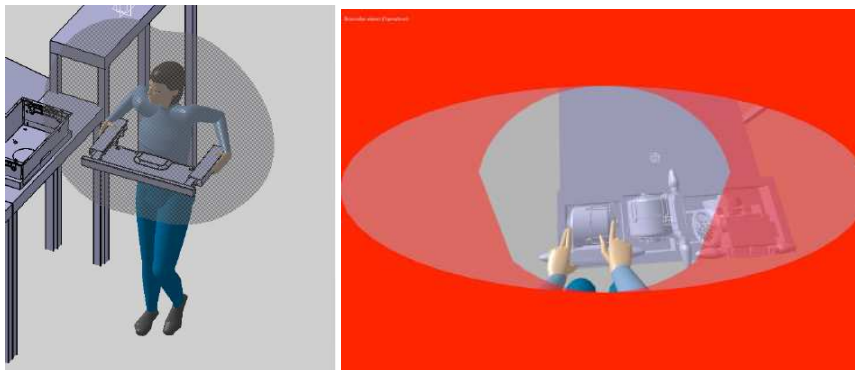


Fig 77 Analisi raggiungibilità / Analisi di visibilità

La postura migliorata prevede il raggiungimento del gruppo aspirante in corrispondenza del bancale di carico, il corpo è bilanciato, i piedi sono entrambi ancorati a terra, le gambe piegate ed il busto è meno flesso ed il collo è meno sollecitato. La postura è simmetrica. Globalmente si evidenzia un miglioramento dell'ergonomia.

Inoltre, dall'analisi Lift-Lower ottenuta tramite l'utilizzo del metodo NIOSH si osservano miglioramenti nel peso del carico sollevabile.



Fig 78 Analisi ergonomica RULA comparativa

Osservando i risultati della NIOSH (fig 79) posti a confronto è possibile notare che il carico limite raccomandato (RWL) nel caso reale corrisponde a 5.5 Kg, mentre nella condizione ottimizzata corrisponde a 8.5 Kg, questa differenza è dovuta al fatto che la postura iniziale che precede il movimento, oltre ad essere ergonomicamente sfavorevole, è instabile, l'operatore si sbilancia in avanti mantenendo come unico punti di ancoraggio al terreno un solo piede.



Fig 79 Analisi ergonomica NIOSH comparativa

4.6 TANGIBLE AUGMENTED REALITY

Oggi la diminuzione dei costi per lesioni, malattie, cadute, amputazioni delle dita e delle altre malattie dei lavoratori rappresenta un imperativo per le aziende non solo per il risparmio previsto ma anche per l'efficienza del lavoro raggiungibile in gran parte dipendente dall'assenteismo e dalle interruzioni ridotte [186]. Una prospettiva impegnativa è introdurre questioni ergonomiche nella progettazione dell'area di lavoro e nel modo in cui i lavoratori apprendono le operazioni manuali per garantire la loro salute e prevenire i rischi potenziali [187] [188]. La panoramica della letteratura sottolinea che l'esposizione del lavoratore ai rischi è direttamente proporzionale a una serie di movimenti sbagliati che inconsapevolmente fa durante l'esecuzione dei compiti come la movimentazione manuale di carichi pesanti, il movimento tra attività diverse a periodi irregolari, l'esecuzione di una sola funzione o movimento per un lungo periodo, sollevamento improvviso di carichi ecc.

La consapevolezza dei rischi, accompagnata da istruzioni in tempo reale da seguire per un montaggio corretto riducendo al minimo il carico di lavoro cognitivo, potrebbe essere efficace per prevenire lesioni e mantenere elevate le prestazioni di lavoro. Questa affermazione rappresenta il punto di partenza della presente ricerca che si concentra sullo sviluppo di un modello di riferimento TAR per supportare il lavoratore durante l'assemblaggio manuale caratterizzato da alcune caratteristiche come l'adattabilità, l'autoapprendimento, l'automazione. Il modello integra sia gli elementi fisici che quelli digitali nell'area di lavoro per facilitare i meccanismi di apprendimento (apprendimento facendo), concentrare l'attenzione dell'utilizzatore durante l'esecuzione del compito, renderle

consapevoli degli effetti del suo movimento sulle lesioni posteriori e sulle ernie addominali e automatizzare la sequenza di assemblaggio corretto.

Il modello di riferimento TAR supporta interazioni complesse perché elabora i contenuti 3D adattivi (cioè il prototipo virtuale) con il regno del prodotto fisico che l'utente sta costruendo, toccando, manipolando, ecc. Supera i limiti tradizionali dei paradigmi Virtuali e di Realtà aumentata che richiedono invasive e non esenti da barriere (ad es. occhiali montati a testa, occhiali da vista, guanti in cyber) per ottenere un buon grado di presenza e immersione mentre interagisce con prototipi virtuali e manichini virtuali che riproducono le posture e i movimenti umani tracciati in ambienti reali per la valutazione ergonomica.

Questo documento affronta la progettazione del modello di riferimento del TAR e il conseguente paradigma dell'apprendimento del lavoro manuale, della formazione e della guida per raggiungere obiettivi mirati di salute, sicurezza e efficienza produttiva. Il TAR è concepito per soddisfare due obiettivi: 1) adattabilità allo stato della sequenza di assemblaggio, monitorando il comportamento del lavoratore mentre svolge una serie di compiti di montaggio e quindi inviando un avviso quando è vicino a un rischio potenziale; 2) autodidatta istruendo il lavoratore alla corretta sequenza di operazioni da seguire per completare efficacemente il suo compito senza incepparsi. Il sistema proposto si basa su un insieme di regole basate sulla conoscenza per prevenire eventuali situazioni di rischio e fornire informazioni per l'apprendimento continuo.

Le regole sono i risultati dell'applicazione di una metodologia di multipath per sostenere efficacemente la misura degli elementi ergonomici nell'area di lavoro e l'identificazione di quali parametri influenzano la definizione ottimale del set-up del workspace. La metodologia proposta di multipath viene applicata a un vero e proprio caso industriale per estrarre un insieme di percorsi critici che consentono di definire il modello TAR e di progettare l'architettura complessiva della piattaforma. Il caso studio riguarda una linea di montaggio manuale di quattro posizioni di una cappa da cucina.

4.6.1 UNA PANORAMICA DI TECNOLOGIE INCENTRATE SULI LAVORO UMANO

L'ergonomia è la disciplina scientifica che riguarda la comprensione delle interazioni tra gli esseri umani e gli altri elementi di un sistema e la professione che applica teoria, principi e metodi per progettare sistemi per ottimizzare il benessere umano e le prestazioni complessive del sistema. I praticanti di ergonomia e ergonomia contribuiscono alla progettazione e alla valutazione di compiti, posti di lavoro, prodotti, ambienti e sistemi per renderli compatibili con le esigenze, le abilità e le limitazioni delle persone [189].

Secondo Murrell [190], l'obiettivo dell'ergonomia applicata alla produzione è quello di ridurre il consumo di risorse per il lavoratore, eliminando dallo spazio di lavoro quelle caratteristiche che alta probabilità saranno causa di inefficienza e di incapacità fisico / cognitiva.

Pertanto, l'analisi dei fattori umani in fabbrica è diventata di cruciale importanza sia per i domini applicativi che per la ricerca nella produzione umana. Si basa sulla comprensione di come le azioni umane, i comportamenti e le prestazioni umane siano influenzate dalle caratteristiche umane antropometriche e psicologiche, mentre interagisce con qualsiasi

sistema tecnico al fine di ottimizzare l'interazione e creare la migliore condizione di lavoro [191].

La valutazione dell'ergonomia è riconosciuta come un fattore chiave per la gestione del rischio [192]. Il controllo e la gestione di fattori di rischio, come le posizioni scomode, le ripetizioni e lo stress, permettono alle aziende di prevenire incidenti, migliorare l'efficienza produttiva e il benessere psico-sociale dei dipendenti e, infine, ottenere un notevole risparmio medio nel costo di rifiuto annuo e tasso di rigetto.

La letteratura scientifica propone numerose applicazioni delle tecnologie VR per simulare l'area di lavoro e tutte le operazioni umane svolte all'interno, per modellare i parametri di comfort, per valutare gli aspetti biomeccanici nell'esecuzione di compiti manuali, ecc., Al fine di progettare un ambiente di produzione sicuro [193] garantendo il lavoro efficienza [194] e qualità del prodotto [195].

Circa gli ambienti immersi in VR sono utilizzati principalmente per valutare l'ergonomia offline e poi fornire indicazioni per ridurre i rischi di lesioni. In questi casi, l'utente del campione deve eseguire le attività che riproducono le operazioni in fabbrica indossando occhiali speciali, guanti sensori o manipolazione di sonde aptiche. L'adozione di diversi dispositivi consente al sistema di migliorare gli stimoli sensoriali dell'utente e di migliorare il senso di immersione [196]. In un recente studio Aromaa et al. [197] ha effettuato un'analisi su due differenti tecnologie basate su AR / VR e ha dimostrato quanto siano adatti all'analisi postura, alla visibilità e alla raggiungibilità dell'oggetto nell'area di lavoro. La debolezza identificata riguarda l'invasività della tecnologia che limita la libertà dei movimenti degli utenti.

Grajewski et al. [198] descriveva due studi di casi industriali in cui VR supportati con display aptici sono stati utilizzati per prototipare l'area di lavoro e eseguire una valutazione ergonomica. Essi hanno dimostrato che l'applicazione delle tecniche VR consente al prototipo virtuale del posto di lavoro di essere rappresentato nel suo vero ambiente operativo, limitando la necessità di modelli fisici. Tuttavia, condurre analisi ergonomiche affidabili con prototipi virtuali in un ambiente interattivo è molto costoso in termini di tempo per la programmazione della simulazione e il costo dello sviluppo.

In Budziszewski et al. [199] è stata studiata una stazione di lavoro per i lavoratori con disabilità in movimento utilizzando tecniche di simulazione e tecniche VR. L'utilizzo di queste tecnologie consente di simulare l'antropometria dell'utente e di creare l'area di lavoro per rendere visibili e accessibili tutti gli oggetti e le attrezzature. Questo sistema non dispone di feedback haptico, quindi l'utente visualizza il layout della workstation ma non è in grado di interagire con esso in modo naturale.

Altri studi hanno sviluppato soluzioni per monitorare l'utente in tempo reale sfruttando le funzionalità di Microsoft Kinect. Questa tecnologia non è invasiva per l'utente che può naturalmente interagire e muoversi all'interno dell'area di lavoro. Diversi software possono essere utilizzati per elaborare la postura e i movimenti dell'utente per eseguire la valutazione RULA [200] (Rapid Upper Limb Assessment) e valutare i carichi posturali e biomeccanici imposti sulla zona lumbosacrale e gli arti superiori, analisi NIOSH [201] per misurare il rischio di disturbi della schiena, evidenziati nelle attività di lavoro che coinvolgono carichi di sollevamento ripetitivi, REBA [202] studio (Rapid Entire Body Assessment) per valutare la postura del corpo, il tipo di movimento, le ripetizioni. L'applicazione di questa tecnologia è limitata all'area di lavoro in cui l'utente non fa grandi movimenti [203], [204]. Inoltre, la tecnologia Augmented Reality è un aiuto utile per apprendere la sequenza di assemblaggio

delle parti del prodotto e delle operazioni di manutenzione. La maggior parte delle nuove ricerche ha sfruttato tecnologie interattive in grado di aggiungere informazioni multimediali all'ambiente fisico per guidare il lavoratore durante il processo di assemblaggio.

Wang et al. [205] ha sviluppato un sistema AR in grado di riconoscere un insieme di gesti e di visualizzare su un HMD alcune informazioni interattive utili per l'assemblaggio di un prodotto. Le informazioni aumentate nascondono alcune parti fisiche e pertanto depurano l'efficienza dell'operatore.

In Rosenthal et al. [206] un micro-proiettore viene utilizzato per visualizzare informazioni aumentate sull'area di lavoro, ma il sistema proposto ha mostrato problemi di occlusione delle parti virtuali e informazioni nascoste. Loch et al. [207] e Miller et al. [208] ha sviluppato un sistema AR per risolvere le parti nascoste in cui una fotocamera cattura l'area di lavoro fisica e quindi le informazioni aumentate vengono visualizzate su uno schermo in un lato dell'area di lavoro. In questo caso l'utente deve spostare il punto di vista dal prodotto alla scena. Questo potrebbe rappresentare un problema per la concentrazione del lavoratore ed essere un rischio potenziale per le lesioni.

Adas et al. [209] hanno posto i markers AR sulle parti fisiche dell'insieme per monitorare la loro posizione nello spazio e migliorare la scena con informazioni virtuali. L'utente indossa un display HMD per visualizzare le informazioni aumentate sulla parte fisica. Il sistema proposto è utile per scopi di apprendimento, ma è troppo invasivo e inefficace per l'uso in fabbrica reale.

Infine, in letteratura sono molto limitate le ricerche in cui le tecnologie più idonee e il tipo di prototipo (virtuale, fisica o misto) vengono scelte attraverso una metodologia strutturata. Battini et al. [210] ha sviluppato un nuovo quadro teorico per valutare un approccio ingegneristico concorrente per risolvere il problema della progettazione del sistema di assemblaggio, in combinazione con un'ottimizzazione ergonomica del luogo di lavoro. Tuttavia, non sono state considerate nessuna tecnologia virtuale di prototipazione.

In sintesi, nel campo degli strumenti digitali per supportare l'utente durante l'attività di assemblaggio manuale ci sono diversi studi e applicazioni che negli ultimi anni sono stati sviluppati dal ricercatore anche dimostrando le loro potenzialità nell'industria. Tuttavia, per applicare efficacemente queste tecnologie nell'industria è fondamentale che esista una sinergia perfetta tra l'operatore e il sistema di analisi che consente di aumentare l'efficienza produttiva. Inoltre, la tecnologia applicata deve essere in grado di trasmettere i dati con altri dispositivi e sistema per interagire con i dati elaborati nell'interesse di Industry 4.0.

4.6.2 ARCHITETTURA PRELIMINARE DI SISTEMA

Questa sezione descrive l'architettura di un sistema TAR non invasivo che ha due obiettivi principali:

- Monitoraggio ergonomico dell'operatore in linea di produzione
- Guidare l'operatore durante tutte le fasi di assemblaggio.

L'architettura del sistema proposto si basa sulla non invasività della soluzione, in realtà non sono necessari sensori indispensabili e non sono necessari marcatori sul prodotto e sullo

spazio di lavoro. Abbiamo pensato di progettare una piattaforma basata sul riconoscimento del prodotto tramite una fotocamera utilizzando la geometria del prodotto stesso. Per monitorare l'ergonomia dell'operatore è stato scelto di utilizzare un Microsoft Kinect 2.0 posizionato di fronte alla workstation. Le specifiche dell'hardware Microsoft Kinect 2.0 sono: fotocamera RGB 1920x1080 30 fps, sensore di profondità 512x424 30 fps, 512x424 sensore IR da 30 fps, serie di 4 microfoni, connessione USB 3.0. Inoltre, non è particolarmente influenzato dalle condizioni di illuminazione e l'intervallo di utilizzo è compatibile con una linea di montaggio: 0,5-4,5 metri, campo visivo 70 ° orizzontalmente e 60 ° verticalmente. Attraverso l'SDK, è possibile tracciare fino a 6 scheletri di individui e ogni scheletro è diviso in 25 segmenti, 10 in caso di seduta seduta. Nel sistema sono state implementate una serie di regole ergonomiche basate sui principi di metodi strutturati come RULA e REBA con i dati memorizzati in "Anthropometric DB" (Fig. 81), che consentono di riconoscere i movimenti dell'operatore per eseguire in tempo reale analisi ergonomica su di lui. Dopo il verificarsi di azioni inappropriate, l'operatore riceve un messaggio con lo scopo di correggere le posizioni errate. Con l'obiettivo di non essere troppo invasivo per l'operatore e quindi inefficiente sono state introdotte condizioni di avviso, per le quali l'avviso avviene solo dopo che la condizione di postura scomoda è stata controllata più di una volta.

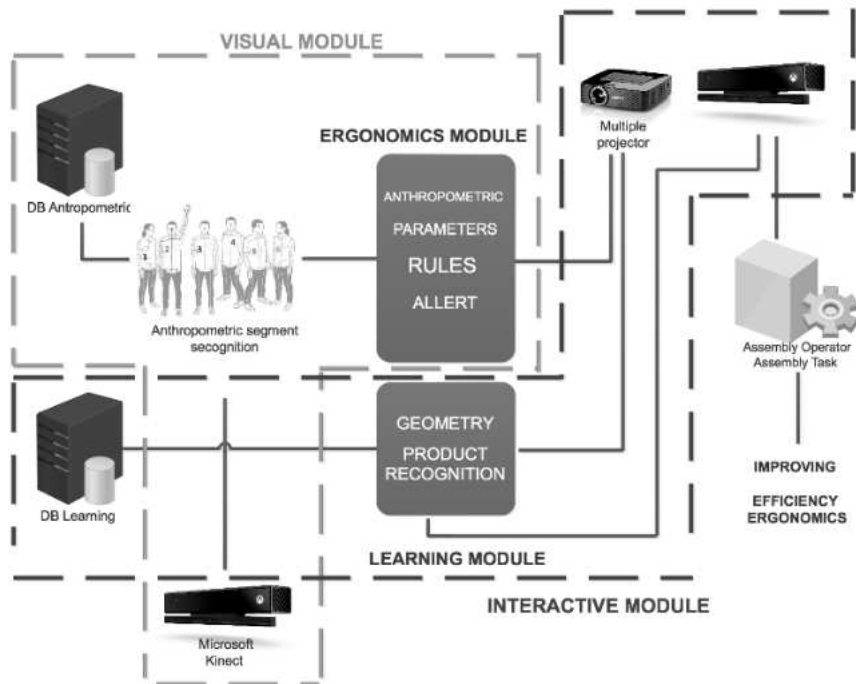


Fig 80 Architettura di sistema Tangible Augmented Reality

La proposta della piattaforma TAR mira inoltre a fornire istruzioni in tempo reale all'operatore per ridurre al minimo la complessità cognitiva per eseguire un'attività e per

consentire di ridurre al minimo i sovraccarichi articolari. Per questa ragione, la sfida principale è controllare in modo affidabile il flusso di lavoro e capire lo stato del semilavorato. I prodotti semi-assemblati provenienti da precedenti stazioni di produzione, l'operazione eseguita dall'operatore e lo stato del prodotto corrente sono riconosciute dalle telecamere ottiche. In questo modo, quando un nuovo prodotto arriva alla stazione di assemblaggio, l'operatore non ha nulla a che fare, il sistema riconosce automaticamente il prodotto, lo associa attraverso "Learning DB" nell'insieme CAD e determina lo stato di montaggio corrente attraverso una corrispondenza tra reale e prototipo virtuale del prodotto. Queste informazioni vengono tradotte in una attività di flusso operative che vengono visualizzate sotto forma di istruzioni virtuali proiettate direttamente sul prodotto da assemblare, guidano gradualmente attraverso il processo di assemblaggio manuale. Esistono due aspetti complementari per correlare le azioni degli utenti e mostrare le istruzioni corrette:

- Fornire raccomandazioni per la prossima operazione (realtà mista) rispetto a:
 - 1) lo stato corrente del processo di assemblaggio e
 - 2) lo stato ergonomico assunto nell'esecuzione delle operazioni di montaggio (Fig. 80). Ciò avviene attraverso una proiezione dell'oggetto virtuale in realtà mista (parte da assemblare) sull'oggetto reale (prodotto) e la proiezione di allerta che consente all'operatore di cambiare la cattiva postura adottata nel processo di assemblaggio, in modo da correggere e migliorare la sua condizione ergonomica generale.
- Fornire dati di contesto (realtà mista): vengono segnalati all'operatore gli strumenti da utilizzare, dove sono posizionati e lo stato operativo.

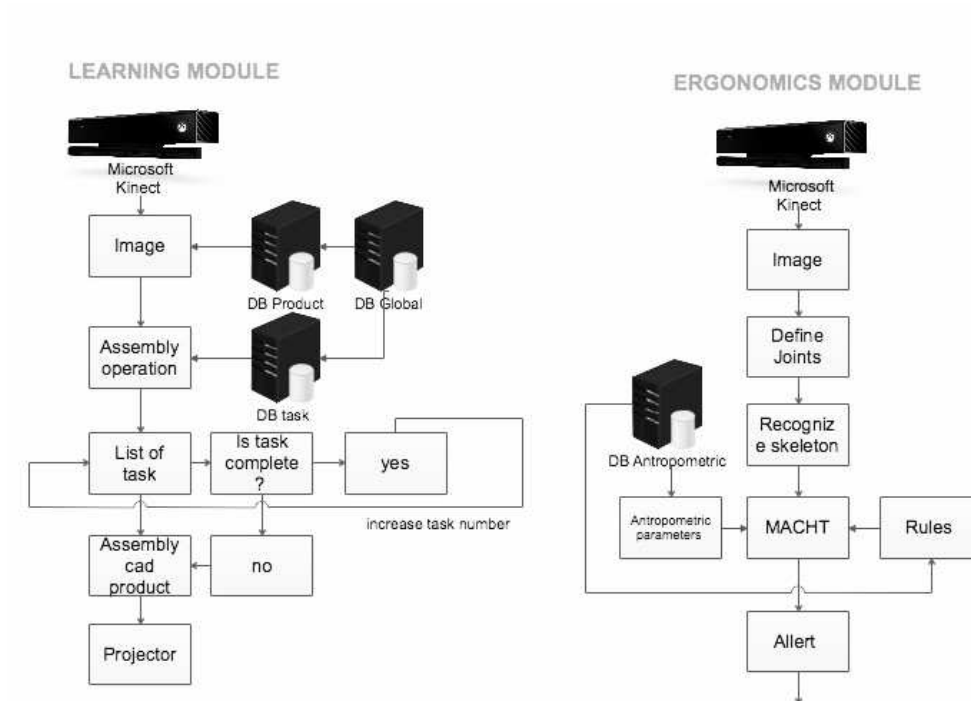


Fig 81 Learning module / Ergonomic module

L'operatore della piattaforma TAR segnala la correttezza dell'operazione appena terminata, dalla sovrapposizione del modello reale con quella virtuale e di eventuali errori di montaggio. Ciò si ottiene proiettando nell'area di lavoro le informazioni necessarie per eseguire l'operazione, evidenziando gli strumenti necessari per condurre e segnalare eventuali componenti non assemblati in modo errato. Per raggiungere questo secondo obiettivo è stato utilizzato un secondo Microsoft Kinect posizionato in cima per monitorare le modifiche nell'ambiente fisico, oggetti e strumenti utilizzati dall'operatore. Questa seconda Microsoft Kinect ha come missione principale riconoscere il prodotto. I dati di questi due sistemi di visione informatica sono sincronizzati e integrati dal sistema di calcolo centrale per adattarsi all'oggetto reale e virtuale, per verificare il corretto montaggio del prodotto e per generare le istruzioni per l'uso. Un alto contrasto WQXGA di un proiettore Barco F35 riceve informazioni dal sistema di calcolo e fornisce all'area di proiezione il lavoro di tutte le informazioni necessarie.

4.6.3 CASO STUDIO APPLICAZIONE TAR

L'obiettivo di questo caso studio è quello di applicare la metodologia sopra citata e creare un sistema per il monitoraggio ergonomico e nel contempo un sistema che agevoli il montaggio dei componenti in linea di assemblaggio.

Per sviluppare questa piattaforma ci siamo avvalsi di Visual Studio, Unity Engine e Vuforia SDK.

4.6.4 SVILUPPO MODULO ERGONOMICO

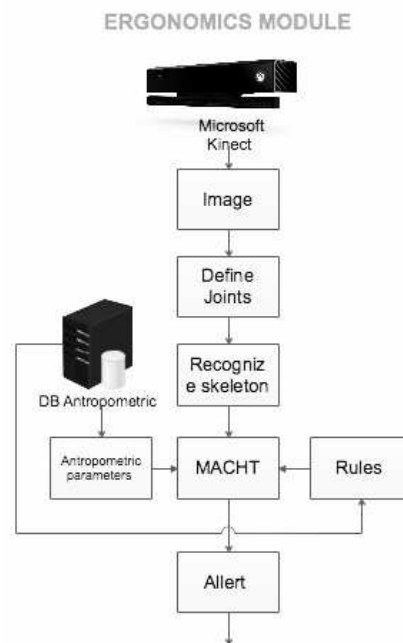


Fig 82 Ergonomic module

Grazie alla tecnologia sviluppata dalla compagnia israeliana PrimeSense sono stati commercializzati diversi tipi di sensori per la generazione di mappe di profondità. Il primo ad essere immesso in commercio è stato Microsoft Kinect. Inizialmente conosciuto con il nome Project Natal, Kinect è un accessorio, originariamente pensato per la console Xbox 360, sensibile al movimento del corpo umano ma che ben presto è diventato strumento cardine utilizzato da numerosi sviluppatori di software per le più disparate applicazioni. A differenza del Wiimote della Nintendo e del PlayStation Move della Sony esso rende il giocatore controller della console senza l'uso di strumenti, come invece accade per i concorrenti. Successivamente la società taiwanese Asus ha creato un sensore che sfrutta la

stessa tecnologia col nome di Xtion disponibile in tre versioni Xtion, XtionPro e XtionPro Live. Attualmente anche la stessa PrimeSense produce un proprio sensore con il nome PrimeSense 3D Sensor.

Grazie ad essi gli sviluppatori Windows e Linux hanno la possibilità di muoversi su un terreno davvero stimolante per realizzare una nuova generazione di applicazioni che possono rivoluzionare l'approccio tradizionale all'utilizzo del PC e non solo.

Questa tecnologia fa sì che mediante una singola acquisizione di un singolo dispositivo sia possibile ottenere informazioni sullo spazio 3D osservato, informazioni utilizzabili in un'infinità di applicazioni: dal gioco alla sorveglianza, dalla computer graphics all'analisi del movimento. E' possibile eliminare mouse, tastiere e telecomandi: persone disabili potrebbero utilizzare questi dispositivi per abbattere numerose barriere che impediscono loro l'utilizzo della tecnologia. Nel campo della robotica è possibile, utilizzando la visione artificiale, far volare un elicottero, far muovere degli automi o un piccolo veicolo, evitando ostacoli mediante la creazione di una mappa 3D dell'ambiente. In ambito medico è possibile risparmiare enormi budget per la realizzazione di un sistema di MoCap con applicazioni anche per l'intrattenimento e la computer vision. La prima cosa che bisogna fare per poter lavorare con questi sensori è analizzarne l'hardware e il supporto software fornito agli sviluppatori e in secondo luogo indagare i driver e le funzionalità fornite dalle librerie annesse.

L'applicazione è stata sviluppata tramite Microsoft Visual Studio su base dei programmi forniti tramite SDK Kinect (fig 83).



Fig 83 Home page platform TAR

Nella prima fase di studio si sono implementati all'interno del programma tutti i metodi per far sì di riconoscere in maniera corretta e completa tutti i nodi del corpo umano.

```

144 // Body
145 using (var frame = reference.BodyFrameReference.AcquireFrame())
146 {
147     if (frame != null)
148     {
149         var bodies = frame.Bodies();
150         _playersController.Update(bodies);
151         Body body = bodies.Closest();
152         if (body != null)
153         {
154             viewer.DrawBody(body);
155             angle1.Update(body.Joints[_start1], body.Joints[_center1], body.Joints[_end1], 50);
156             angle2.Update(body.Joints[_start2], body.Joints[_center2], body.Joints[_end2], 50);
157             angle3.Update(body.Joints[_start3], body.Joints[_center3], body.Joints[_end3], 50);
158             angle4.Update(body.Joints[_start4], body.Joints[_center4], body.Joints[_end4], 50);
159             angle5.Update(body.Joints[_start5], body.Joints[_center5], body.Joints[_end5], 50);
160             angle6.Update(body.Joints[_start6], body.Joints[_center6], body.Joints[_end6], 50);
161             angle7.Update(body.Joints[_start7], body.Joints[_center7], body.Joints[_end7], 50);
162             angle8.Update(body.Joints[_start8], body.Joints[_center8], body.Joints[_end8], 50);
163             angle9.Update(body.Joints[_start9], body.Joints[_center9], body.Joints[_end9], 50);
164             angle10.Update(body.Joints[_start10], body.Joints[_center10], body.Joints[_end10], 50);
165             angle11.Update(body.Joints[_start11], body.Joints[_center11], body.Joints[_end11], 50);
166             angle12.Update(body.Joints[_start12], body.Joints[_center12], body.Joints[_end12], 50);
167             angle13.Update(body.Joints[_start13], body.Joints[_center13], body.Joints[_end13], 50);
168             angle14.Update(body.Joints[_start14], body.Joints[_center14], body.Joints[_end14], 50);
169             angle15.Update(body.Joints[_start15], body.Joints[_center15], body.Joints[_end15], 50);
170             angle16.Update(body.Joints[_start16], body.Joints[_center16], body.Joints[_end16], 50);
171             tblAngle1.Text = ((int)angle1.Angle).ToString();
172             tblAngle2.Text = ((int)angle2.Angle).ToString();
173             tblAngle3.Text = ((int)angle3.Angle).ToString();
174             tblAngle4.Text = ((int)angle4.Angle).ToString();
175             tblAngle5.Text = ((int)angle5.Angle).ToString();
176             tblAngle6.Text = ((int)angle6.Angle).ToString();
177             tblAngle7.Text = ((int)angle7.Angle).ToString();
178             tblAngle8.Text = ((int)angle8.Angle).ToString();
179             tblAngle9.Text = ((int)angle9.Angle).ToString();
180             tblAngle10.Text = ((int)angle10.Angle).ToString();
181             tblAngle11.Text = ((int)angle11.Angle).ToString();
182             tblAngle12.Text = ((int)angle12.Angle).ToString();
183             tblAngle13.Text = ((int)angle13.Angle).ToString();
184             tblAngle14.Text = ((int)angle14.Angle).ToString();
185             tblAngle15.Text = ((int)angle15.Angle).ToString();
186             tblAngle16.Text = ((int)angle16.Angle).ToString();
187         }
188     }
189 }
190 }
191 }
192 }
193 }
194 }
195 }
196 }
197 }

```

Fig 84 Programmazione in Microsoft Visual Studio 2017

Il secondo passo è stato quello di generare ed implementare un insieme di regole che permettessero di applicare l'analisi RULA all'insieme di dati provenienti dal sensore.

Il metodo di analisi RULA (Rapid Upper Limb Assessment) fornisce una valutazione facilmente calcolabile dei carichi posturali e biomeccanici gravanti sulla zona lombo-sacrale sugli arti superiore [221].

Questo strumento fornisce un unico punteggio, come un "istantanea" del compito, che è il risultato della valutazione di postura, forza e movimento richiesto per svolgere una determinata attività. Il rischio è calcolato con un punteggio che varia da 1 (basso) a 7 (alto, critico). Questi punteggi sono raggruppati in quattro livelli di azione che forniscono l'indicazione del periodo di tempo in cui è ragionevole aspettarsi la necessità di controllo del rischio:

Le principali applicazioni del metodo RULA sono:

- Misurare il rischio, di solito come parte di un'indagine più ampia
- Confrontare il carico muscolo-scheletrico dei disegni delle workstation attuali e modificate
- Valutare i risultati quali produttività o idoneità delle attrezzature
- Educare i lavoratori sui rischi muscolo-scheletrico creato da diverse posture scorrette di lavoro

Misurazione del rischio muscolo-scheletrico : il metodo RULA valuta ogni postura di lavoro e il relativo livello di rischio in un breve lasso di tempo e senza necessità di attrezzature sofisticate. Tale metodo non è stato progettato per fornire informazioni posturali dettagliate, ma può essere utilizzato con altri strumenti di valutazione come parte di un'indagine ergonomica più ampia o più dettagliata. Quando si utilizza l'analisi RULA il valutatore deve tener presenti fattori differenti (conoscenza dei prodotti, processi, operazioni, lesioni muscolo-scheletriche precedenti, formazioni del personale, disposizioni sul posto di lavoro e le dimensioni e pertinenti rischi ambientali o vincoli) qualora si considerino cambiamenti ergonomicamente vantaggiosi della workstation. Inoltre può essere necessario valutare diverse posture durante un ciclo di lavoro per stabilire un profilo del carico motorio. In questi casi risulta conveniente far uso di mezzi multimediali quali fotocamere, o sistemi di rilevazioni non invasivi che siano in grado di monitorare in real time tutte le posture mentre si eseguono i compiti.

Questa metodologia è stata implementata all'interno del codice del programma. (vedi appendice 1)

Tramite questa implementazioni siamo stati in grado di creare una piattaforma che in tempo reale invia all'operatore degli output sul suo stato ergonomico.



Fig 85 Allert medio rischio Ergonomic module

Nella parte alta in fig 85 è possibile leggere l'angolazione di ogni sezione corporea, e tramite l'implementazione dello script vengono attivati degli alert.

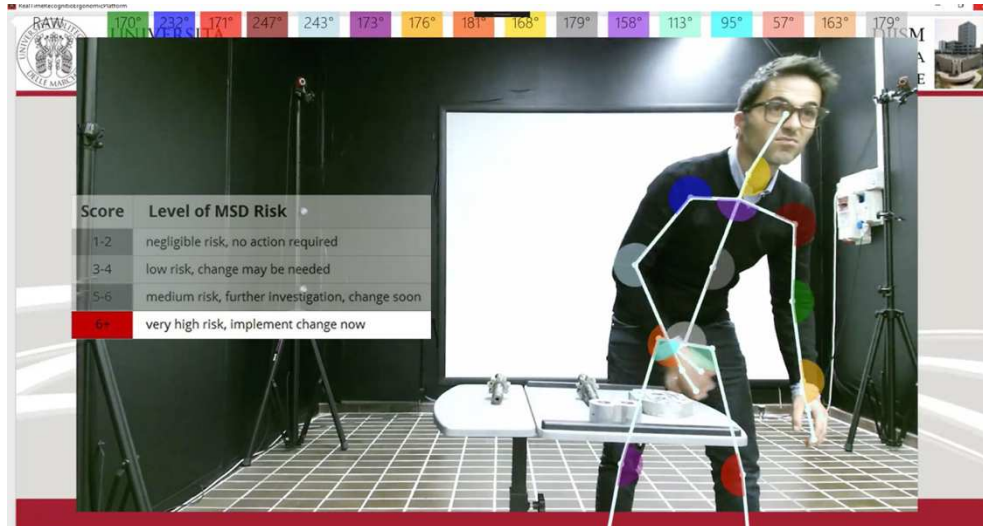


Fig 86 Allert alto rischio Ergonomic module

4.6.5 SVILUPPO MODULO LEARNING

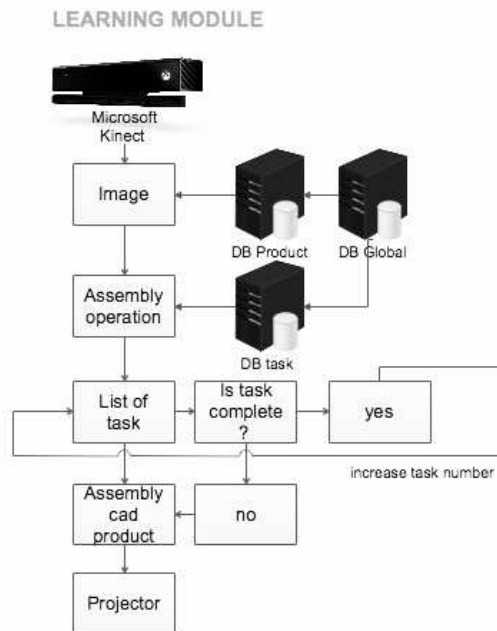


Fig 87 Learning Module

Il processo è destrutturato in più fasi, partendo dalla scansione del componente fino ad arrivare alla proiezione del contenuto sul componente reale.

- Scannerizzazione del pezzo tramite applicazione Scanner inclusa nell' SDK di Vuforia
- Inserimento delle scannerizzazioni nel sito Vuforia, per permettere di cercare il collegamento con il motore Unity, tramite la generazione di file.unitypackage.
- Importazione dei file nell'ambiente Unity, in cui verranno elaborati e implementati con pezzi virtuali e prototipi 3d dei componenti da assemblare.
- Tramite la camera collegata (pc, cellulare o Kinect) si procede al riconoscimento automatico dello stato di avanzamento dell'assemblato.
- Proiezione sul pezzo reale dell'immagine del componente immediatamente successivo da montare, comprensivo di informazioni quali posizionamento, utensili da utilizzare, avvertenze. Vengono riportate informazioni sia ergonomiche, come alert di postura scorretta o informazioni necessarie per assemblaggio efficiente.

Illustriamo brevemente l'ambiente di sviluppo (software Unity) e il software di acquisizione modello (Vuforia) assieme agli strumenti fisici utilizzati, come a Kinect di Microsoft.

4.6.5.1 SOFTWARE UNITY ENGINE



Fig 88 Logo Unity Engine

Software utilizzato per unire le scansioni fatte con l'Object Scanner di Vuforia con parti o animazioni virtuali: grazie alla camera, Unity acquisisce l'ambiente di lavoro e riesce ad individuare il target (che sia Image target, 2D, o Object target, 3D e scansionato con Vuforia). Esistono molti ambienti di sviluppo, gratuiti e non, che permettono la realizzazione di applicazioni di realtà virtuale. Questi vengono chiamati "Engine" e permettono di modellare esperienze di qualsiasi tipo, dai simulatori a videogiochi, fornendo un supporto nativo o tramite plugin, dipendente dalla tipologia di visore utilizzata, allo sviluppo di applicazioni di realtà virtuale. Alcuni di questi Engine sono reperibili in forma totalmente gratuita mentre altri necessitano di licenze acquistabili, alcuni non prevedono il pagamento di royalties al

rilascio dell'applicazione sviluppata mentre altri solo al superamento di una determinata quota di vendita. Unity è uno di questi.

Esso è un ambiente di sviluppo prodotto da Unity Technologies che permette di creare interazioni 3D/2D multiplatforma, visualizzazioni architettoniche, animazioni 3D e molti altri contenuti interattivi. Esso è un software che vanta una notevole semplicità d'approccio allo sviluppo rispetto a molti altri applicativi della stessa tipologia. L'interfaccia grafica

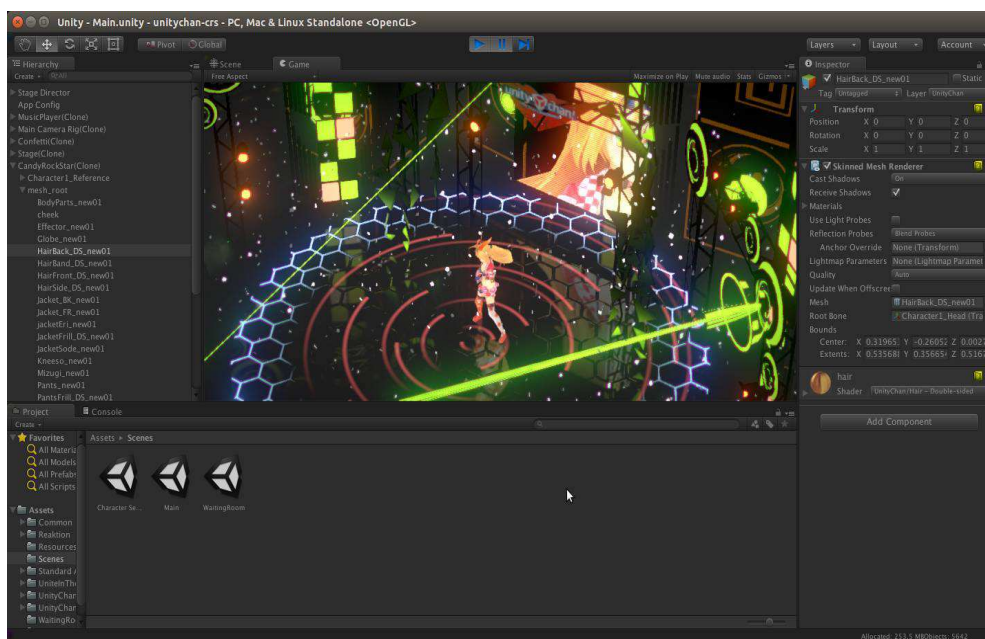


Fig 89 Interfaccia Unity Engine

permette in pochissimi minuti di creare qualcosa di funzionante con estrema facilità e la community online, ad esso associata, è sempre molto attiva nell'aiutare gli utenti a risolvere problematiche di qualsiasi tipologia. Tali caratteristiche, unite allo sviluppo nativo multiplatforma, hanno portato questo software ad essere uno dei più utilizzati per la creazione di applicazioni interattive.

4.6.5.2 INTERFACCIA UNITY

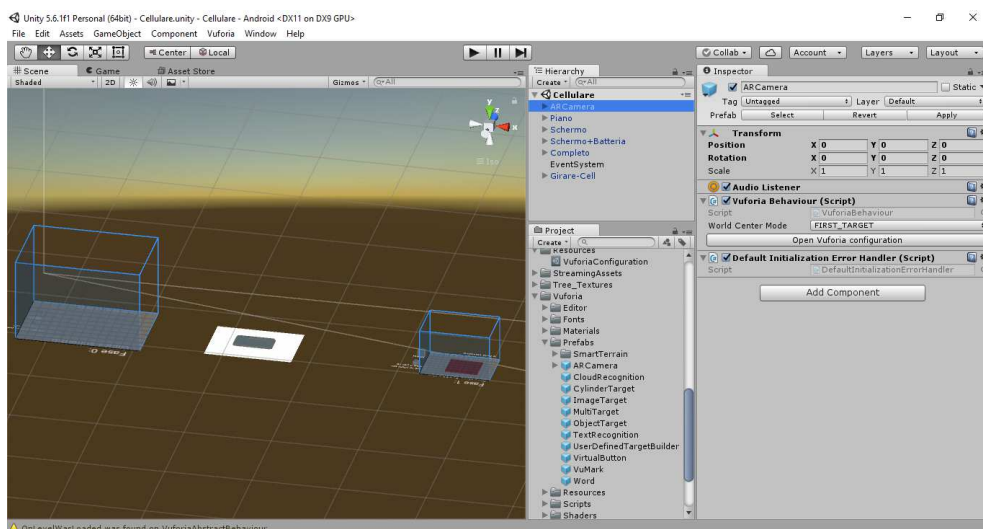



Fig 90 Interfaccia operativa Unity Engine

L'interfaccia di Unity ` e suddivisa in svariate aree:

- **Hierarchy:** questa area mostra tutti gli elementi che compongono il gioco all'interno della scena corrente. Ogni oggetto puo essere padre o figlio, creando quindi una relazione gerarchica in cui il figlio eredita caratteristiche e componenti del padre. Questa relazione si crea trascinando un oggetto, relativamente il primo diviene figlio e il secondo il padre, in maniera molto intuitiva. Qui possono anche essere inseriti nuovi elementi di qualsiasi tipo (si va da modelli 3D/2D, a elementi dell'interfaccia grafica per esempio).
- **Scene:** in questa zona viene mostrata in tempo reale la scena e si possono posizionare, ruotare ed aggiungere nuovi oggetti. Trascinando oggetti nella schermata è possibile inserirli direttamente nella posizione desiderata.
- **Game:** in questa finestra viene mostrata la scena inquadrata dalla telecamera principale selezionata. In questo modo è possibile vedere in tempo reale la scena dall'inquadratura di gioco.
- **Asset Store:** finestra tramite cui ` è possibile raggiungere il negozio degli asset di Unity. Da questo store è possibile scaricare elementi ed utilizzarli immediatamente all'interno del proprio progetto. Gli elementi scaricabili possono essere di qualsiasi natura, si puo andare da elementi audio a modelli grafici più o meno complessi per esempio.
- **Project:** in questa zona sono mostrate tutte le cartelle e i file all'interno del progetto. E' possibile navigare esattamente come nel Finder di OSX, nell'Explorer di Windows o nel Nautilus di Ubuntu (Linux). E' anche possibile creare degli elementi prefabbricati che possono poi essere riutilizzati all'interno del progetto, in inglese prefabs, trascinando gli

oggetti dall'area Hierarchy a quella Project. In questo modo è possibile creare dei modelli prefabbricati di qualsiasi elemento del progetto.

- Inspector: nell'Inspector sono contenute tutte le informazioni relative all'oggetto selezionato. Qui sono mostrati i componenti (components) che caratterizzano tale oggetto o il suo comportamento.

- Console  come in molti altri software di sviluppo in quest'area sono riportati i messaggi di errore, di warning e di stampa dell'applicazione

4.6.5.3 PROGETTI IN UNITY

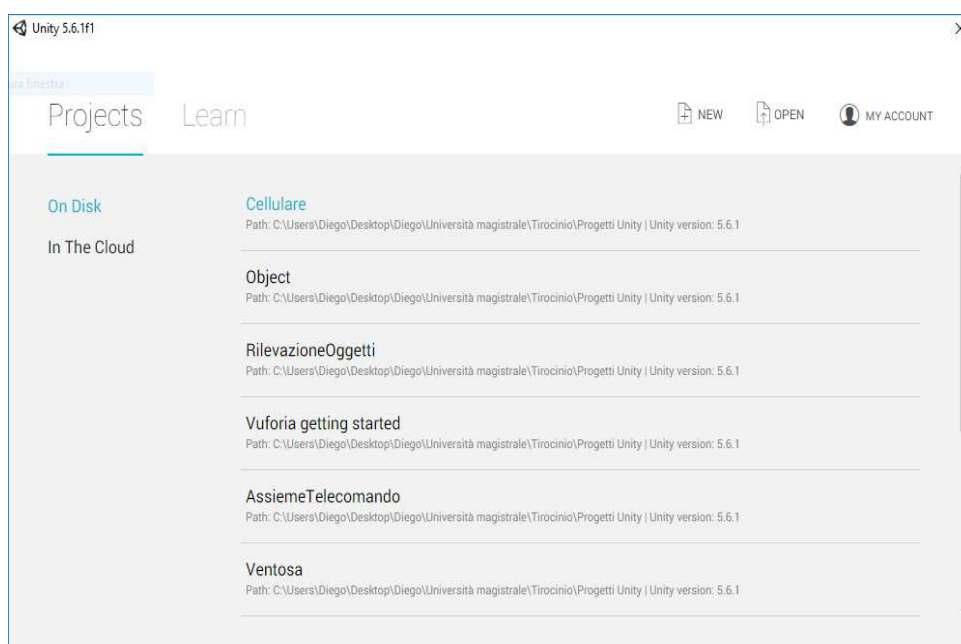


Fig 91 Interfaccia progetto Unity Engine

Tutto ciò che è necessario per il funzionamento di un'applicazione sviluppata con Unity deve essere situato all'interno dell'area Project e quindi contenuto all'interno della cartella Assets del progetto in questione. All'interno di questa vanno salvate tutte le animazioni, gli script, gli effetti audio, le musiche, i materiali, i prefabbricati, ecc. Tutte le scene sono composte da GameObject, di questi fanno parte tutte le tipologie di oggetti appartenenti alla suddetta scena come personaggi, telecamere, figure dell'ambiente, ecc. Gli oggetti di questa tipologia inseriti all'interno del "Project" vengono detti prefabs (prefabbricati) e sono degli oggetti riutilizzabili più volte all'interno del progetto, da cui il nome prefab. Ogni volta che un oggetto di questo tipo viene inserito in una scena si dice che questo è un'istanza del prefab

stesso, quindi ogni modifica apportata all'oggetto originale/padre si ripercuote su ogni singola istanza figlia.

Ogni GameObject facente parte del progetto ha delle proprietà visibili all'interno dell'Inspector, una volta che questi è selezionato, disposto nell'area di lavoro sulla destra nella schermata principale del software.

Tali caratteristiche sono definite come component [75]. Esistono tantissimi tipologie di componenti che variano in base alla caratteristica implementata.

Alcuni esempi sono:

- Transform : componente che determina la posizione nello spazio 3D all'interno della scena corrente;
- Script : componente che inserisce all'interno dell'attuale GameObject uno script per implementare nuove funzioni o comportamenti non definiti;
- Collider : componente che permette di gestire le collisioni tra il GameObject corrente e tutti gli altri presenti in scena;
- Animation : componente che associa un'animazione al GameObject corrente;
- Animator : componente che associa un animatore al GameObject corrente. Un animatore è composto da una sequenza data da una macchina a stati finiti che gestisce il susseguirsi delle animazioni o eventi sull'oggetto stesso.
- Audio Source : componente che associa una risorsa audio a un GameObject

4.6.5.4 ASSET E ASSET STORE

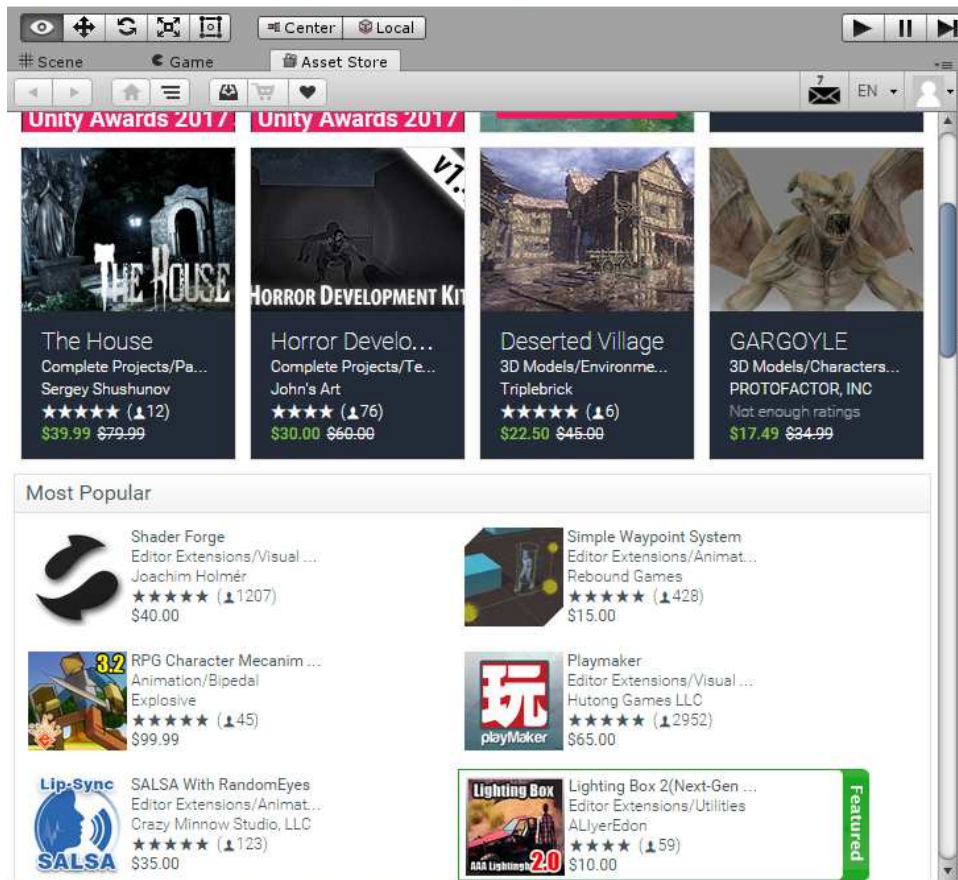
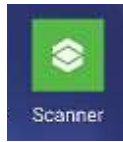


Fig 92 Asset store Unity Engine

Gli asset all'interno di Unity sono file di qualsiasi tipologia che posso risultare utili all'interno del progetto. Possono rappresentare per esempio suoni, musiche, modelli 3D, sprite 2D, texture, script, prefabs, scene realizzate con altri software di modellazione o shader. Tutto ciò che è situato all'interno delle cartelle del progetto può essere considerato un asset. Unity permette inoltre di importare nuovi asset da un negozio integrato all'interno del software, chiamato Asset Store, all'interno del quale è disponibile ogni tipologia di risorsa utile allo sviluppo di applicazioni. Questi asset possono essere creati e caricati dagli utenti che sono registrati sul sito di Unity e successivamente venduti al prezzo desiderato, ci` o ha permesso di aumentare il numero di risorse disponibili in modo esponenziale nel corso degli anni fornendo agli sviluppatori un numero sempre crescente di modelli, audio, script, ecc. a pagamento o in forma gratuita.

4.6.5.5 FASI OPERATIVE

- Scansione del componente



È disponibile nel SDK di Vuforia l'applicativo Scanner da installare, questo permette di creare una nuvola di punti per indentificare in maniera univoca l'oggetto. Il software elabora una "mappa di punti", catturati tramite il movimento di una camera attorno al pezzo disposto su un foglio target che fa da base. Viene visualizzata una mappatura tridimensionale, che mostra facilmente le zone scansionate dal dispositivo tramite il colore verde della porzione della stessa gabbia, mentre rimane bianca se ancora non è stata riconosciuta.

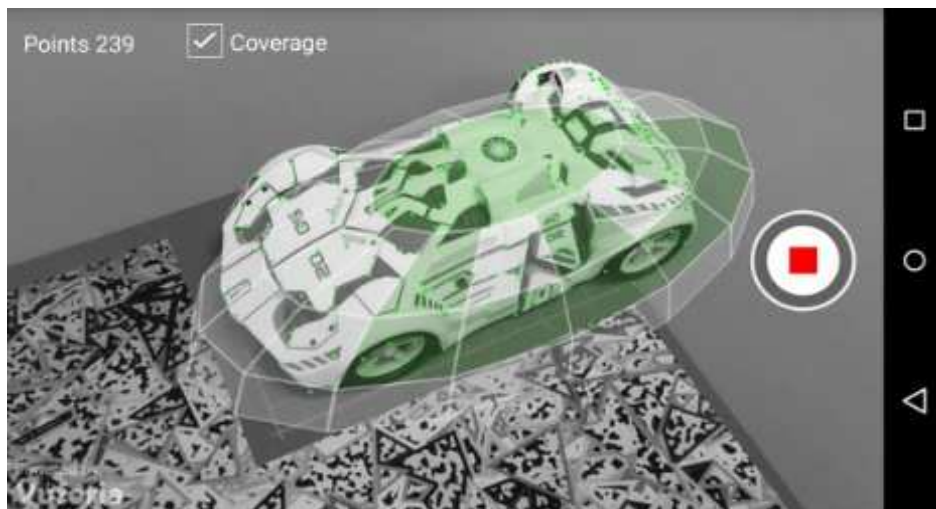



Fig 93 Scanner Vuforia SDK

Terminata l'acquisizione, viene mostrata una schermata di riepilogo in cui vengono indicati il numero dei punti di controllo che sono stati identificati: piu alto è il numero, maggior è l'affidabilità che si avrà poi nel riconoscimento. Non sono stati riscontrati limiti di punti riconoscibili, questo strumento riesce in maniera efficiente a rilevare anche parti molto piccole, ordine di grandezza inferiore al millimetro.

< 2batteriacell

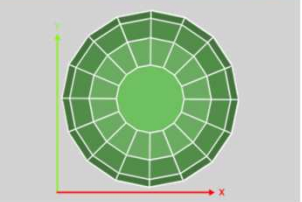


Name
2batteriacell

Last Modified
Ago 3, 2017 13:33

File Size
14,1 MB

Points
272



Test

Cont Scan

Fig 94 Scansione acquisita Vuforia SDK

La parte di test di riconoscimento è integrato all'interno dello strumento "Scanner", (fig 93) c'è la verifica di riconoscimento del pezzo. Questo è un chiaro segno che il sistema di riconoscimento ha catturato il pezzo in maniera corretta riesce a determinare l'orientamento nello spazio.



Fig 95 Test funzionalità Vuforia SDK

- Implementazione del target tramite il motore Vuforia

Per usufruire di queste scansioni è necessario un passaggio intermedio all'interno del SDK Vuforia, per permettere di estrapolare un database di Target implementabile poi all'interno del motore di render Unity.

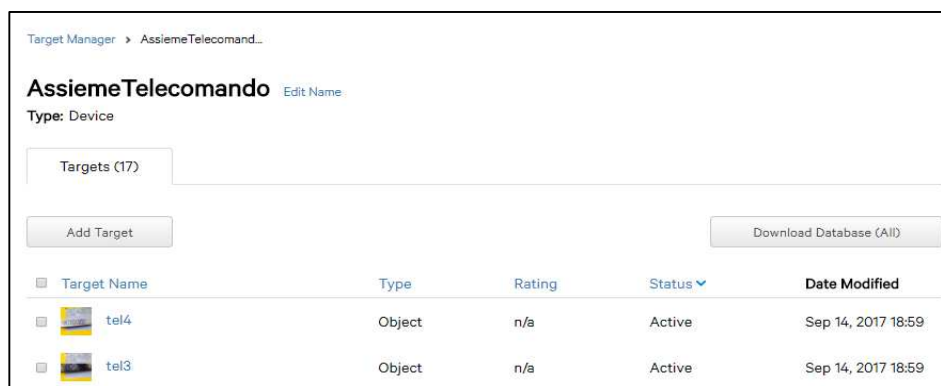


Fig 96 Target DB Vuforia SDK

- Importazione file all'interno di Unity

Appena generati .unitypackage dal sito di Vuforia, è necessario importare tali applicativi all'interno Unity tramite il comando Import Package. In questo modo nell'albero logico si potrà visualizzare tutti i componenti di Vuforia, tra cui ARCamera, ImageTarget e ObjectTarget.

Questi 3 in particolare sono quelli implementati perché:

- ARCamera: è necessario per determinare i dati di input da far analizzare al motore, cioè si determina quale è l'elemento camera che si desidera utilizzare.
- ImageTarget: qui verranno collegati le Single Image del database precedentemente creato;
- ObjectTarget: qui verranno collegati i 3D Object del database precedentemente creato.

Tramite le funzioni di Unity, si crea la scena: si aggiungono componenti virtuali o disegni 3d precedentemente realizzati, e si collegano ai 2 tipi di target selezionati.

- tramite il dispositivo di input scelto (kinect) collegato si procede al riconoscimento dello stato di avanzamento dell'assemblato

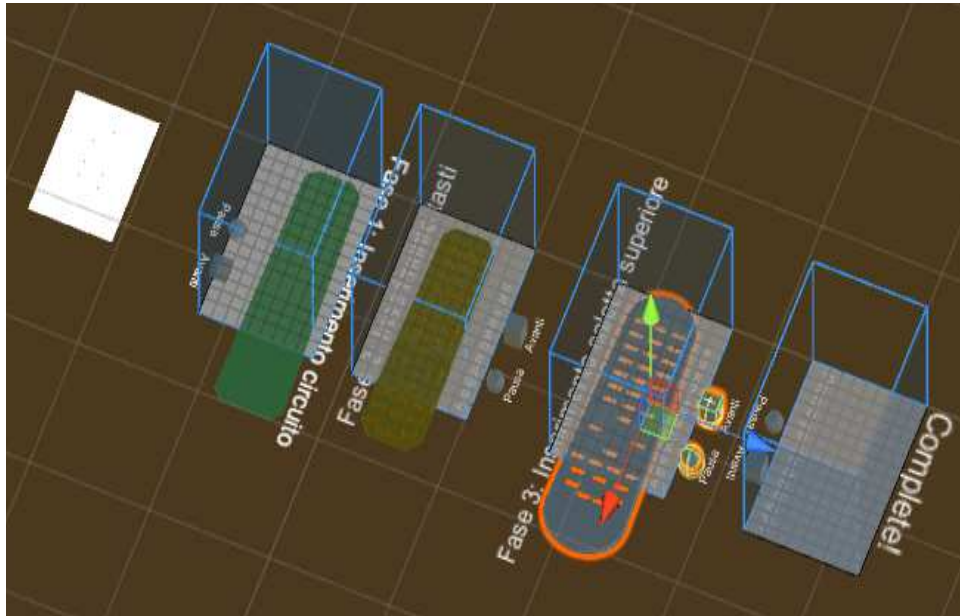


Fig 97 Assieme in unity



Fig 98 Layout Kinect

- L'ultima fase è quella di comunicazione con il proiettore, per permettere di utilizzare i dati in VR direttamente su di esso. Il risultato è quello di proiettare direttamente sul prodotto tutte le informazioni necessarie per un efficiente assemblaggio.

Esempio di applicazione all'interno del laboratorio di prototipazione virtuale presso Università Politecnica delle Marche.

Questo pilota è stato creato per testare le funzionalità del sistema, segue l'implementazione della fase necessaria per proiettare le informazioni di assemblaggio tramite un proiettore ad alta luminosità.

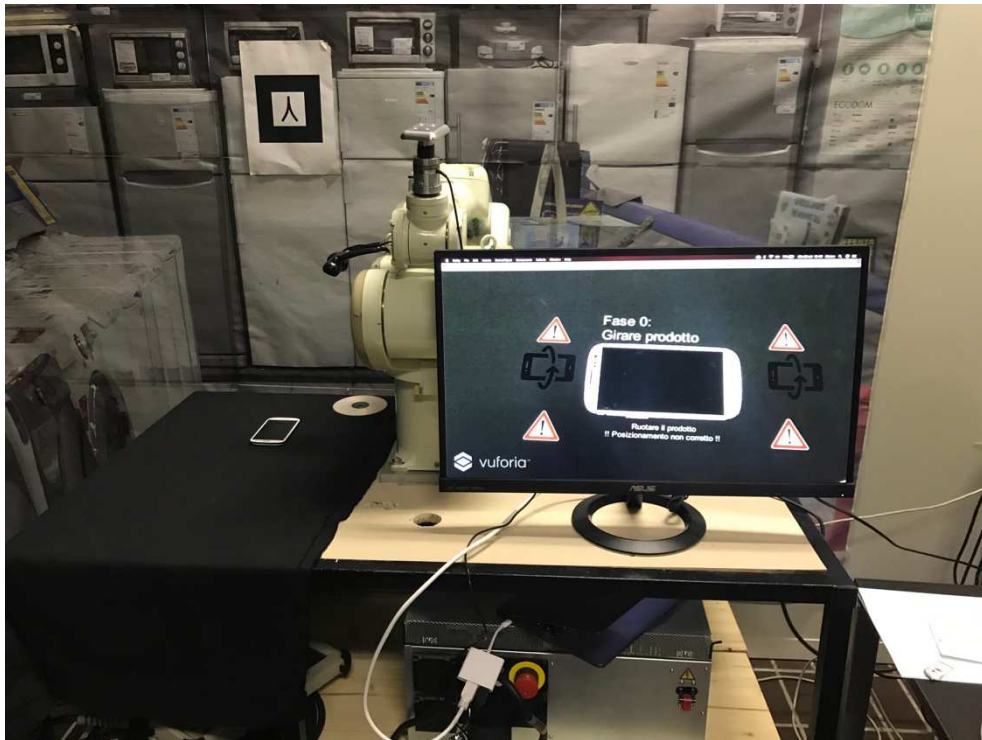


Fig 99 Esempio montaggio cellulare fase 1

In fig 99 notiamo il layout della simulazione, dove troviamo il prodotto, simulando un piano di lavoro di una generica linea di assemblaggio manuale, una telecamera posta in posizione tale da inquadrare in maniera corretta tutta l'area di lavoro, ed un monitor per visualizzare l'output. Il monitor nella piattaforma TAR definitiva sarà sostituito con un proiettore e l'informazione sarà proiettata direttamente sul prodotto.

Il sistema riconosce lo stato di avanzamento di assemblaggio del componente, nel caso in fig 99 viene dato come allerta all'operatore informazioni riguardanti il corretto assemblaggio, in particolare viene segnalata il mal posizionamento del componente per permettere l'assemblaggio, e vengono visualizzate le azioni correttive necessarie a compiere le operazioni.



Fig 100 Esempio montaggio cellulare fase 2

Seguendo le istruzioni date, il componente viene manipolato per portarlo nella corretta posizione per permettere l'inizio del processo di assemblaggio. In questa fase il sistema segnala che tipologia di operazione deve essere effettuata fig 100 (operazione manuale, operazione con ausilio di strumentazione, ect...) viene visualizzata l'informazione riguardante la fase specifica del ciclo in fig 100 esempio Fase 1 "Inserire Batteria" vengono fornite tutte le informazioni per il corretto assemblaggio e viene in fine verificata la corretta esecuzione del task. L'operatore è guidato, corretto sia dal punto di vista ergonomico, tramite il modulo ergonomico, sia per quanto riguarda l'esecuzione manuale dell'attività.

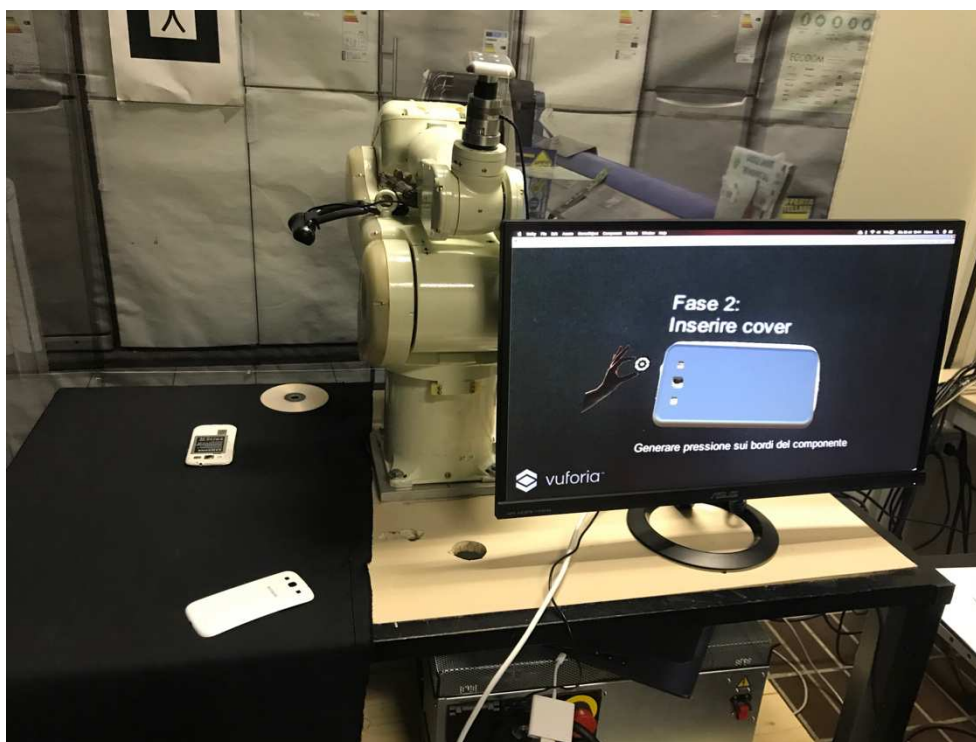


Fig 101 Esempio montaggio cellulare fase 2

Tutte le informazioni vengono proiettate per tutte le fasi di assemblaggio. Nella visualizzazione la struttura della piattaforma prevede inserimento oltre alle informazioni relative alle attività tecniche da svolgere, degli alert ergonomici come da modulo ergonomico. Questo permette all'operatore di assumere sempre, o avere degli avvisi quando la postura eccede i limiti di carico articolare. Quest'approccio prevede un abbassamento degli incidenti muscoloscheletrici di lungo periodo e di breve periodo.

Nell'ultima fase eseguita dall'operatore, fig 102, vengono visualizzati tutti i le fasi svolte dall'operatore, viene verificata l'accuratezza delle operazioni e la qualità del prodotto così da permettere di iniziare un altro passo di produzione.

Lo strumento è dedicato anche al responsabile della sicurezza e alle figure che gestiscono il ciclo di produzione e responsabili di qualità prodotto. Ad ogni figura viene inviato un report riguardante specifici aspetti del lotto prodotto, con report in ambito di qualità, ergonomia, rispetto dei tempi ciclo. Questo è la base del continuo miglioramento richiesto in ogni ambito di produzione.



Fig 102 Esempio montaggio cellulare fase 3

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI: DISCUSSIONE

Il capitolo finale della tesi elabora le principali conclusioni del lavoro realizzato durante il periodo di dottorato, tra Università e azienda.

È impossibile evitare di notare che la tesi è strutturata in un modo bidimensionale, come definito dall'introduzione. Questa differenza deriva direttamente dalla gestione della co-tutela della tesi, in cui due importanti istituti erano in contatto e complementari. Tuttavia, i risultati principali della tesi non hanno creato un'arena di dicotomia, ma, al contrario, hanno rivelato due interessanti punti di vista sullo stesso problema della gestione dei dati del prodotto lungo il "ciclo di vita del prodotto".

La prima parte della tesi analizza, configura ed adatta uno strumento in un determinato contesto, mentre la seconda parte, propone un modo innovativo che per la gestione della sicurezza del lavoratore e della produttività aziendale.

All'interno di questo ultimo capitolo, vengono descritti i limiti e le questioni aperte delle due aree di ricerca, considerando che la ricerca è sempre viva.

Conclusioni sulla prima parte della tesi

Come accennato e discusso nella prima parte della tesi, l'acronimo PLM sta diventando sempre più importante nel mercato, assumendo molti mezzi per venditori e utenti.

In effetti, il PLM sta diventando qualcosa di nuovo, poiché tiene conto di diversi livelli, da modelli di business collaborativi (come la metodologia di progettazione concorrente definita negli anni '80), alle risorse ICT sempre più sofisticate, alla gestione di ogni singolo prodotto. Il PLM potrebbe essere considerato non come un pezzo di tecnologia, ma più come un approccio / paradigma / modello strategico da definire e deciso all'inizio al livello più alto dell'azienda,

Un modello rilevante per analizzare il PLM è il ciclo di vita del prodotto stesso, almeno, ad esempio, per contestualizzare le diverse visioni del PLM, ma al momento manca ancora una definizione accettata di un tale tipo di modello.

E' stata presentata una metodologia per implementare una strategia di "Design for Costing" in un contesto industriale reale. Sono stati affrontati due problemi significativi: come creare un modello CAD configurabile e modulare basato su features per comprendere tutte le famiglie di prodotti e le varianti di prodotto e come calcolare analiticamente un costo in base alla mappatura tra la modellazione e le caratteristiche di produzione. Il primo è risolto applicando un approccio ingegneristico sistematico e parametrizzando i modelli di famiglia di prodotto. Il secondo è superato personalizzando e implementando uno strumento "Design for Costing", chiamato LeanCOST. I risultati sperimentali dimostrano i benefici tangibili e intangibili conseguibili.

Il lavoro di ricerca futuro sarà incentrato sull'automazione delle procedure di configurazione all'interno dello strumento di modellazione CAD per gestire la struttura dell'albero genealogico e sull'applicazione dello strumento "DfC" in ulteriori casi di studio e raccolta di risultati sperimentali per misurare il tempo ottenuto - risparmi e accuratezza dei costi in caso di implementazione del metodo.

Conclusioni della seconda parte della tesi

Lo studio propone una metodologia a più percorsi per la valutazione ergonomica delle workstation al fine di migliorare la sicurezza operativa e l'efficienza dei processi manuali all'interno dell'azienda manifatturiera. Questa metodologia consiste in 5 passaggi e consente di definire, per un caso specifico in esame, i potenziali fattori di rischio, i parametri ergonomici da monitorare, il metodo di valutazione più adatto, i corretti strumenti di valutazione e infine la migliore tecnologia di misurazione. La metodologia si basa su tabelle di correlazione per guidare l'analista nella selezione degli articoli, passo dopo passo. Il risultato è un percorso critico che, nel caso specifico, definisce tutti i fattori di analisi. La metodologia proposta può essere applicata a qualsiasi attività manuale e semi-manuale, poiché la sua definizione è decisamente generale. È stato testato su un case study industriale incentrato sull'assemblaggio manuale di elettrodomestici, in particolare sulle cappe da cucina. Una stazione di lavoro specifica nella catena di montaggio è stata studiata. Il case study è partito dalla definizione dei fattori di rischio specifici, i migliori metodi di valutazione e gli strumenti di misurazione. Una serie di telecamere ha permesso di monitorare le condizioni e le attività reali e di riprodurle all'interno di uno strumento di simulazione digitale. La metodologia ha permesso di identificare i compiti più importanti e di proporre nuove soluzioni progettuali per loro. Le soluzioni proposte sono state verificate e verificate mediante simulazione di produzione digitale su manichini virtuali. Di conseguenza, gli analisti sono stati in grado di ottimizzare la workstation in breve tempo e secondo una metodologia unica e standardizzata, che potrebbe diventare una procedura standard per l'azienda.

Rispetto allo stato dell'arte descritto nelle sezioni precedenti, la piattaforma Tangible Augmented Reality (TAR) proposta è diversa per un insieme di caratteristiche che la rendono più integrata nel contesto applicativo in cui viene utilizzata con lo scopo di ampliare l'uso di questo tipo di tecnologie per un pubblico sempre più ampio. Infatti, la metodologia da cui deriva la piattaforma TAR consente di valutare in modo dettagliato il caso studio specifico e quindi ricavare una serie di requisiti tecnici per lo sviluppo della piattaforma stessa.

In particolare, il lavoro proposto presenta i seguenti punti di innovazione rispetto all'attuale stato dell'arte:

- La piattaforma TAR proposta non è invasiva poiché rispetto ad altre applicazioni non hanno bisogno di dispositivi indossabili, come HMD o sistema di tracciamento;
- Nessun marker AR stampato è richiesto nell'area di lavoro. Tipicamente, questi marcatori ostacolano il normale flusso di lavoro perché devono sempre essere incorniciati senza occlusione al fine di visualizzare informazioni aggiuntive dalla realtà aumentata. Inoltre, hanno bisogno di attività di configurazione per la loro disposizione nello spazio di lavoro e per la configurazione delle informazioni aggiuntive assegnate a loro;
- Nella piattaforma proposta non sono necessari ulteriori dispositivi di visualizzazione. Viceversa alla maggior parte delle applicazioni presenti in letteratura, l'utente non deve distogliere lo sguardo dal prodotto per guardare ulteriori informazioni AR su un display situato in una certa posizione dell'area di lavoro. Ciò influisce certamente sull'efficienza dell'operatore nello svolgimento dei compiti pianificati;
- La piattaforma TAR proposta deriva dall'applicazione di una metodologia strutturata in 10 passaggi a un caso di studio in analisi. Ciò consente di definire un insieme di requisiti tecnici perfettamente integrati con il contesto applicativo industriale;

- Il sistema proposto consente di dare all'operatore un riscontro in tempo reale sull'ergonomia dei movimenti compiuti.

Ciò consente di prevenire possibili situazioni di rischio dovute a movimenti scorretti tramite un sistema di apprendimento che guida l'operatore nell'eseguire l'attività nel modo più ergonomico e corretto.

Tutte le strutture tecniche necessarie per implementare il modello sono effettivamente disponibili, ma non sono comunemente impiegate nella produzione a causa del loro costo e complessità. Ma presto diventeranno meno costosi; allo stesso tempo i nuovi Regolamenti Europei porteranno miglioramenti nei sistemi di tracciabilità, quindi in pochi anni ciò che è futuristico diventerà realtà. Nel frattempo la ricerca deve avanzare per mostrare nuove possibilità e opportunità.

Come noto, non è così facile concludere questo tipo di lavoro. Molte attività, esperienze, incontri e persone stanno sorgendo nella mente. Spero di aver contribuito alla comunità di ricerca. Solo il tempo lo deciderà.

APPENDICE 1

```
script:
#include <iostream>

using namespace std;

int main()
{
    int a, b, c, d, e, f, l1, s1, s2, n1, n2, x, y, A, B;
    int N1[10][10], N2[10][10], N3[10][10];
    int x1=0, l11=0;
    cout << "Hello world!" << endl;
    cout << "ANALISI ERGONOMICA - GRUPPO A!" << endl;

    cout << "inserisci flessione tronco" << endl;
    cin >> a;
    cout << "inserisci estensione tronco" << endl;
    cin >> b;
    if (a<20)
        s1=1;
    else
        s1=2;
    if (b<20)
        s2=1;
    else
        if (b>60)
            s2=3;
        else
            s2=2;
    //prendo il maggiore dei due indici REBA
    if (s1>s2)
        x=s1;
    else
        x=s2;
    cout<<"Se il tronco è ruotato o flessso lateralmente inserire 1"<<endl;
    cin>>x1;
    x=x+x1;
    cout << "l'indice REBA per il tronco è " << x << endl;
    cout << "inserisci flessione collo" << endl;
    cin >> c;
    cout << "inserisci estensione collo" << endl;
    cin >> d;
    if (c<=20)
        n1=1;
    else
        n1=2;
    if (d>=0)
        n2=2;
    //prendo il maggiore dei due indici REBA
    if (n1>=n2)
        y=n1;
    else
        y=n2;
    cout << "l'indice REBA per il collo: " << y << endl;
    cout << "se la postura è stabile, inserire 1" << endl;
```

```

cout << "se la posizione è instabile inserire 2" << endl;
cin >> f;
cout << "inserire l'angolo fra i segmenti della gamba" << endl;
cin >> e;
if (e<60)
    l1=f+1;
else
    l1=f+2;
cout<<" se il collo è ruotato o flesso lateralmente inserire 1"<<endl;
cin>>l11;
l1=l1+l11;
cout << "l'indice REBA per le gambe :"<< l1 << endl;
//matrice per neck = 1
N1[1][1]=1;
N1[1][2]=2;
N1[1][3]=3;
N1[1][4]=4;
N1[2][1]=2;
N1[2][2]=3;
N1[2][3]=4;
N1[2][4]=5;
N1[3][1]=2;
N1[3][2]=4;
N1[3][3]=5;
N1[3][4]=6;
N1[4][1]=3;
N1[4][2]=5;
N1[4][3]=6;
N1[4][4]=7;
N1[5][1]=4;
N1[5][2]=6;
N1[5][3]=7;
N1[5][4]=8;

//matrice per neck = 2
N2[1][1]=1;
N2[1][2]=2;
N2[1][3]=3;
N2[1][4]=4;
N2[2][1]=3;
N2[2][2]=4;
N2[2][3]=5;
N2[2][4]=6;
N2[3][1]=4;
N2[3][2]=5;
N2[3][3]=6;
N2[3][4]=7;
N2[4][1]=5;
N2[4][2]=6;
N2[4][3]=7;
N2[4][4]=8;
N2[5][1]=6;
N2[5][2]=7;
N2[5][3]=8;
N2[5][4]=9;

//matrice per neck = 3

```



```

N3[1][1]=3;
N3[1][2]=3;
N3[1][3]=5;
N3[1][4]=6;
N3[2][1]=4;
N3[2][2]=5;
N3[2][3]=6;
N3[2][4]=7;
N3[3][1]=5;
N3[3][2]=6;
N3[3][3]=7;
N3[3][4]=8;
N3[4][1]=6;
N3[4][2]=7;
N3[4][3]=8;
N3[4][4]=9;
N3[5][1]=7;
N3[5][2]=8;
N3[5][3]=9;
N3[5][4]=9;

if(y<2)
  A=N1[x][11];
else
{
  if(y<3)
    A=N2[x][11];
  else
    A=N3[x][11];
}
cout<<"indice REBA complessivo per il gruppo A: "<< N3[x][11]<<endl;

int g, h, i, l, m, ua1, ua2, la1, w1, w2, w,q;
int p=0, q1=0, q2=0;
int P1[10][10], P2[10][10];

//gruppo B
cout << "ANALISI ERGONOMICA - GRUPPO B!" << endl;

cout << "inserisci estensione parte superiore del braccio" << endl;
cin >> g;
cout << "inserisci flessione parte superiore del braccio" << endl;
cin >> h;
if (g<20)
  ua1=1;
else
  ua1=2;
if(h<20)
  ua2=1;
else
{
  if (h>45)
  {if (h<90)
    ua2=3;
  else
    ua2=4;
  }
}

```

```

    }
    else
        ua2=2;

};

//prendo il maggiore dei due indici REBA
if (ua1>ua2)
    q=ua1;
else
    q=ua2;
cout<<"se il braccio presenta abduzione o rotazione inserire 1"<<endl;
cin>>q1;
cout<<"se la spalla risulta sollevata inserire 1"<<endl;
cin>>q2;
q=q+q1+q2;
cout << "l'indice REBA per la parte superiore del braccio è "<< q << endl;
cout << "inserisci flessione avambraccio" << endl;
cin >> i;
if (i<60)
    la1=1;
else
{
    if(i>100)
        la1=2;
    else
        la1=1;
};
cout << "l'indice REBA per l'avambraccio: "<< la1 << endl<< endl;
cout << "inserire flessione polso" << endl;
cin >> l;
cout << "inserire estensione polso" << endl;
cin >> m;
if (l>15)
    w1=2;
else
    w1=1;
if (m>15)
    w2=2;
else
    w2=1;
//maggiore fra i due indici REBA
if (w1<w2)
    w=w2;
else
    w=w1;
cout << "se il polso è deviato o ruotato digitare 1" << endl;
cin>>p;
cout << "l'indice REBA per le gambe : "<< w+p << endl;
//matrice per avambraccio = 1
P1[1][1]=1;
P1[1][2]=2;
P1[1][3]=2;
P1[2][1]=1;
P1[2][2]=2;
P1[2][3]=3;
P1[3][1]=3;

```

```

P1[3][2]=4;
P1[3][3]=5;
P1[4][1]=4;
P1[4][2]=5;
P1[4][3]=5;
P1[5][1]=6;
P1[5][2]=7;
P1[5][3]=8;
P1[6][1]=7;
P1[6][2]=8;
P1[6][3]=8;

//matrice per avambraccio = 2
P2[1][1]=1;
P2[1][2]=2;
P2[1][3]=3;
P2[2][1]=2;
P2[2][2]=3;
P2[2][3]=4;
P2[3][1]=4;
P2[3][2]=5;
P2[3][3]=5;
P2[4][1]=5;
P2[4][2]=6;
P2[4][3]=7;
P2[5][1]=7;
P2[5][2]=8;
P2[5][3]=8;
P2[6][1]=8;
P2[6][2]=9;
P2[6][3]=9;

if(la1<2)
    B=P1[q][w+p];
else
    B=P2[q][w+p];
    cout<<"indice REBA complessivo per il gruppo B: "<< B<<endl;
//confronto gruppo A - gruppo B
int T[15][15];

T[1][1]=1;
T[1][2]=1;
T[1][3]=1;
T[1][4]=2;
T[1][5]=3;
T[1][6]=3;
T[1][7]=4;
T[1][8]=5;
T[1][9]=6;
T[1][10]=7;
T[1][11]=7;
T[1][12]=7;
T[2][1]=1;
T[2][2]=2;
T[2][3]=2;
T[2][4]=3;
T[2][5]=4;

```

$T[2][6]=4;$
 $T[2][7]=5;$
 $T[2][8]=6;$
 $T[2][9]=6;$
 $T[2][10]=7;$
 $T[2][11]=7;$
 $T[2][12]=8;$

$T[3][1]=2;$
 $T[3][2]=3;$
 $T[3][3]=3;$
 $T[3][4]=3;$
 $T[3][5]=4;$
 $T[3][6]=5;$
 $T[3][7]=6;$
 $T[3][8]=7;$
 $T[3][9]=7;$
 $T[3][10]=8;$
 $T[3][11]=8;$
 $T[3][12]=8;$

$T[4][1]=3;$
 $T[4][2]=4;$
 $T[4][3]=4;$
 $T[4][4]=4;$
 $T[4][5]=5;$
 $T[4][6]=6;$
 $T[4][7]=7;$
 $T[4][8]=8;$
 $T[4][9]=8;$
 $T[4][10]=9;$
 $T[4][11]=9;$
 $T[4][12]=9;$

$T[5][1]=4;$
 $T[5][2]=4;$
 $T[5][3]=4;$
 $T[5][4]=5;$
 $T[5][5]=6;$
 $T[5][6]=7;$
 $T[5][7]=8;$
 $T[5][8]=8;$
 $T[5][9]=9;$
 $T[5][10]=9;$
 $T[5][11]=9;$
 $T[5][12]=9;$

$T[6][1]=6;$
 $T[6][2]=6;$
 $T[6][3]=6;$
 $T[6][4]=7;$
 $T[6][5]=8;$
 $T[6][6]=8;$
 $T[6][7]=9;$
 $T[6][8]=9;$
 $T[6][9]=10;$
 $T[6][10]=10;$

$T[6][11]=10;$
 $T[6][12]=10;$

$T[7][1]=7;$
 $T[7][2]=7;$
 $T[7][3]=7;$
 $T[7][4]=8;$
 $T[7][5]=9;$
 $T[7][6]=9;$
 $T[7][7]=9;$
 $T[7][8]=10;$
 $T[7][9]=10;$
 $T[7][10]=11;$
 $T[7][11]=11;$
 $T[7][12]=11;$

$T[8][1]=8;$
 $T[8][2]=8;$
 $T[8][3]=8;$
 $T[8][4]=9;$
 $T[8][5]=10;$
 $T[8][6]=10;$
 $T[8][7]=10;$
 $T[8][8]=10;$
 $T[8][9]=10;$
 $T[8][10]=11;$
 $T[8][11]=11;$
 $T[8][12]=11;$

$T[9][1]=9;$
 $T[9][2]=9;$
 $T[9][3]=9;$
 $T[9][4]=10;$
 $T[9][5]=10;$
 $T[9][6]=10;$
 $T[9][7]=11;$
 $T[9][8]=11;$
 $T[9][9]=11;$
 $T[9][10]=12;$
 $T[9][11]=12;$
 $T[9][12]=12;$

$T[10][1]=10;$
 $T[10][2]=10;$
 $T[10][3]=10;$
 $T[10][4]=11;$
 $T[10][5]=11;$
 $T[10][6]=11;$
 $T[10][7]=11;$
 $T[10][8]=12;$
 $T[10][9]=12;$
 $T[10][10]=12;$
 $T[10][11]=12;$
 $T[10][12]=12;$

$T[11][1]=11;$
 $T[11][2]=11;$

```
T[11][3]=11;
T[11][4]=11;
T[11][5]=12;
T[11][6]=12;
T[11][7]=12;
T[11][8]=12;
T[11][9]=12;
T[11][10]=12;
T[11][11]=12;
T[11][12]=12;
```

```
T[12][1]=12;
T[12][2]=12;
T[12][3]=12;
T[12][4]=12;
T[12][5]=12;
T[12][6]=12;
T[12][7]=12;
T[12][8]=12;
T[12][9]=12;
T[12][10]=12;
T[12][11]=12;
T[12][12]=12;
```

```
cout<<"indice REBA complessivo: "<< T[A][B]<<endl;
if (T[A][B]>8)
    cout<<endl<<"ATTENZIONE !!!"<<endl;
return 0;
}
```

References

- [1] Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnila, S., Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design, Elsevier, Aalto University, 2013;
- [2] Hunker, D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G., Environmental Life cycle costing, SETAC, New York, 2008;
- [3] UNEP/SETAC, 2011
- [4] SETAC, 2008.
- [5] UNEP/SETAC, 2009
- [6] Calcolato basandosi sulla guida SMART SPP5
- [7] Mearig, Coffee, & Morgan, Life Cycle Cost Analysis Handbook. First Edition, 1999
- [8] H. Paul Barringer , H. Paul Barringer, Life Cycle Cost And Good Practices
- [9] Jan Emblemsvåg, Bert Bras, Process thinking — a new paradigm for science and engineering, In Futures, Volume 32, Issue 7, 2000, Pages 635-654, ISSN 0016-3287
- [10] B.S. DHILLON Engineering Maintainability, How to Design for Reliability and Easy Maintenance, 1999, Pages 137–159
- [11] Alphonse Dell'Isola, Stephen J. Kirk, Life Cycle Costing for Facilities, 2003
- [12] Nielsen P.H., Wenzel H., (2002) Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment, Journal of Cleaner Production, 10, pp 247–257
- [13] Verschoor A.H., Reijnders L., (1999), The use of life cycle methods by seven major companies, Journal of Cleaner Production, 7, pp 375–382
- [14] Onkvisit S., Shaw J.J., (1998), Product Life Cycles and Product Management, Quorum Books, Greenwood Press, Westport, Connecticut
- [15] Cugini U., Wozny M., (2001), From Knowledge Intensive CAD to Knowledge Intensive Engineering, Proceedings of IFIP WG 5.2. International Workshop on Knowledge Intensive CAD, USA
- [16] Cugini U., Wozny M., (2001), From geometric modeling to shape modeling, Proceedings of the IFIP WG 5.2, International Workshop on Geometric Modeling
- [17] Mannisto T., Peltonen H., Martio A., Sulonen R., (1998), Modelling generic product structures in STEP, Computer-Aided Design, 30, 14, pp 1111–1118
- [18] Panetto H., Scannapieco M., Zelm M., (2004), INTEROP NoE: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software, Proceedings of the On the Move to Meaningful Internet Systems 2004 International Workshops, Agia Napa, Cyprus, Springer- Verlag Heidelberg
- [19] Bhandarkar M. P., Downie B., Hardwick M., Nagi R., (2000), Migrating from IGES to STEP: one to one translation of IGES drawing to STEP drafting data, Computers in Industry, 41, 3, pp 261-277
- [20] Zhang F., Xue D., (2001), Optimal concurrent design based upon distributed product development life-cycle modelling, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 17, pp 469-486
- [21] Wang H.F., Zhang Y.L., (2002), CAD/CAM integrated system in collaborative development environment, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 18, pp 135-145
- [22] Cutkosky T.G., Tenenbaum M. R., Glicksman J., (1993), SHARE: a methodology and environment for collaborative product development, Proceedings of the IEEE Infrastructure for Collaborative Enterprise, Morgantown
- [23] Zhang F., Xue D., Wallace D., (1998), Distribution modelling and evaluation of product design problems, Computer Aided Design, 30, pp 411-423
- [24] Soga S., Hiroshigo Y., Dobashi A., Okumura M., Kusuzaki T., (1999), PLM using radio frequency identification technology, Proceedings 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA '99
- [25] Porter M., (1985), Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance, NY, The Free Press
- [26] Andersen, B., Rolstadås, A., Fagerhaug, T., (1998), Practical Productivity Measurement, Proceedings 10th Working Seminar on Production Economics, Innsbruck/Igls, Austria.
- [27] Koudate A., (2003), Il management della progettazione, ISEDI Nuova ediz. (traduzione a cura di Rosario Manisera e Roberta Giovannuzzi)
- [28] Brown J., (1992), Value Engineering, Industrial Press Inc
- [29] Kaufman J.J., (1990), Value Engineering for the Practitioner, North Carolina State University
- Technical references
- [30] Komninou I., (2002), Product life cycle management, Urenio press
- [31] ISO 10303 (STEP), SSID-STEP/SC4 Industrial Data Framework

- [32] Van Moll J.H., (2002), The importance of Life Cycle Modelling to the development and testing of complex products, Philips semiconductors, Presentation at TestNet Najaarsevenement 2002, Nieuwegein
- [33] GERAM, (1998), IFIP-IFAC task force, Annex A to ISO 15704, ISO TC184/SC5/WG1 N423
- [34] Impactsoft, www.impactsoft.com
- [35] IBM, www.ibm.com
- [36] Rulestream, www.rulestream.com
- [37] Tecnomatix, www.tecnomatix.com
- [38] Codrino A., (1999), I sistemi per la gestione dei processi, www.plm-systems.com
- [39] CIMData, (2002), The benefits of Digital Manufacturing, A CimData white paper, www.CIMdata.com
- [40] XML, World Batch Forum, www.w3b.org
- [41] Technology Evaluation, www.technologyevaluation.com
- [42] Verspille K., (2003), PLM Interoperability: Can XML Circuitry Be the TCP/IP of PLM?, www.coe.org
- [43] SAP, www.sap.com
- [44] Microsoft, www.microsoft.com
- [45] Lotus Notes, www.lotus.com
- [46] UGS, www.ugsplm.com
- [47] Wilson G., (2003), Product Life-Cycle Management in the Manufacturing Industry: End-User Survey Shows Solid Market Opportunities for Application Software Providers, IDC press
- [48] MatrixOne, www.matrixone.com
- [49] Baan, IBaan - Positioning white paper, www.baan.com
- [50] Oracle, www.oracle.com
- [51] AMR Research, www.amr-research.com
- [52] CIMData, (2001), Collaborative Product Definition management (cPDM): An Overview, www.CIMdata.com
- [53] Codrino A., (1999), Business Process Reengineering e Business Process Automation: moda o esigenza?, www.plm-systems.com
- [54] VCOR Group, (2004), Value Chain Operation Reference Model Overview 0.0, www.value-chain.org
- [55] Gartner Group, www.gartner.com
- [56] PRTN, www.prtm.com/plm-solutions.htm
- [57] PLM evaluation, www.plmevaluation.com
- [58] Banker R., Bardhan I., (2002), Evaluating the impact of collaborative product commerce on the product development lifecycle, White paper of the Center for Practice and Research in Software Management (PRISM), School of Management, The University of Texas at Dallas
- [59] Reedy K., (2000), Collaborative Product Commerce (CPC): How it Helps Improve a Company's Performance, Accenture press
- [60] Brown J., (2003), SLM - Service Lifecycle Management, www.technologyevaluation.com
- [61] McFarlane D., Bussmann S., (2002), Holonic Manufacturing Control: Rationales, Developments and Open Issues, Agent Based Manufacturing - Advances In The Holonic Approach, Springer, pp 302- 326
- [62] Wyns J., (1999), Reference architecture for holonic manufacturing system, Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven
- [63] Morel G., Grabot B. (Eds.), (2003), Special issue on IMS, Engineering applications of artificial intelligence, 16/4
- [64] Koestler A., (1967), The Ghost in the Machine, Arkana Books, London
- [65] Bongaerts L., (1998), Concepts for Holonic Manufacturing, Integration of Scheduling and Control in HMS, Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven
- [66] Marik V, Pechoucek M., (2001), Special issue on industrial applications of Holonic and Multi-Agent Systems, Journal of Applied System Sciences.
- [67] Bob Duckett, (2009) "The Longman Dictionary of Contemporary English (5th ed.)", Reference Reviews, Vol. 23 Issue: 6, pp.32-34, <https://doi.org/10.1108/09504120910978915>

- [68] Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (1995). *Product Design and Development*. New York, McGraw-Hill.
- [69] Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D.(2003) "Product Design and Development", 3rd edition. McGraw-Hill, Boston Burr Ridge.
- [70] Rooden, M. J. (1999) „Prototypes on Trial“, in Green, W. S. and Jordan, P. W. (ed.) *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*. Taylor & Francis, London. P138
- [71] Bond, W. T. F. (1996) *Design project planning: a practical guide for beginners*. PRENTICE HALL, London.
- [72] Lidwell, W., Holden, K., and Butler, J. (2010) *Universal Principles of Design*. Rockport Publishers. Beverly.
- [73] Schrage, M. (1996) *Cultures of Prototyping*, in *Bringing Design to Software*, T. Wingorad, Editor, ACM Press: New York. Pp 191-205, 1996. Quoted in Hartmann, B., Klemmer, S. R., Bernstein, M., Abdulla, L., Burr, B., Mosher, A. R. and Gee, J. (2006). *Reflective Physical Prototyping through Integrated Design, Test, and Analysis*. UIST Conference 2006, Montreaux Switzerland.
- [74] Hartmann, B., Klemmer, S. R., Bernstein, M., Abdulla, L., Burr, B., Mosher, A. R. and Gee, J. (2006). *Reflective Physical Prototyping through Integrated Design, Test, and Analysis*. UIST Conference 2006, Montreaux Switzerland.
- [75] Schrage, M. (1996) *Cultures of Prototyping*. Retrieved on 07 Jul 2010 from <http://hci.stanford.edu/publications/bds/10-Schrage.pdf>
- [76] Stoll, H. W. (1999). *Product Design Methods and Practices*. Marcel Dekker, Inc. New York
- [77] Slack, L. (2006). *What is product design?* Mies Switzerland, RotoVision SA. SolidWorks (2006). Retrieved on 23 September 2007, from http://www.solidworks.com/pages/products/SolidWorks_2008/SolidWorksOfficePremium2008.html
- [78] Otto, K. and K. Wood. (2001). "Product Design - Techniques in Reverse Engineering and New Product Development." Prentice-Hall, Inc. New Jersey
- [79] Medero, S. (2007). "Paper Prototyping." Retrieved 13 April 2010, from <http://www.alistapart.com/articles/paperprototyping/>
- [80] Rosenau, M. D. (2000) *Successful Product Development – speeding from opportunity to profit*. JOHN WILEY & SONS, INC. New York.
- [81] Rouse, W. B. (1991). *Design for success: a human-centred approach to designing successful products and systems*. Chichester : Wiley
- [82] Rooden, M. J. (1999) „Prototypes on Trial“, in Green, W. S. and Jordan, P. W. (ed.) *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*. Taylor & Francis, London. P138
- [83] Baxter, M. (1995). *Product Design: Practical methods for the systematic development of new products*. London, Chapman & Hall.
- [84] Lucci, R. and Orlandini, P. (1990) *Product Design Models*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [85] Essen, K. and Steur, R. (2009). *Sketching: drawing techniques for product designers*. BIS Publishers. Amsterdam.
- [86] Design Council. (2007). *Eleven lessons: managing design in eleven global companies - Desk research report*. London, Design Council.
- [87] Chua, C. K., S. H. Teh and R. K. L. Gay (1999). "Rapid prototyping versus virtual prototyping in product design and manufacturing." *The international journal of advanced manufacturing technology*. Vol. 15, pp. 597-603.
- [88] Song, P., Krovi, V., Kumar, V. and Mahoney, R. (1999). "Design and Virtual Prototyping of Human-worn Manipulation Devices," *Proceeding of the 1999 ASME Design Technical Conference and Computers in Engineering Conference, DETC99/CIE-9029*, Las Vegas, Nevada, September 11-15.
- [89] Wang, G.. G.. (2002). "Definition and Review of Virtual Prototyping." *Journal of Computing and Information Science in Engineering* Vol. 2, (Issue 3), pp. 232-236.
- [90] Tseng, M. M., Jiao, J. and Su, C. (1998). "Virtual prototyping for customized product development." *Integrated Manufacturing Systems*. Vol. 9 (No. 6), pp. 334-343.
- [91] Andreas, D., Wald, I. and Slusallek, P. (2004). "Interactive Visualization of Exceptionally Complex Industrial CAD Datasets". Retrieved on 12 September 2007, from http://graphics.cs.uni-sb.de/Publications/2004/BoeingSketch_SIGGRAPH2004.pdf
- [92] Jamshidi, J., Mileham, A. R. and Owen, W. (2006). "A CAD modelling system automation for Reverse Engineering applications." *Digital Enterprise Technology*. Retrieved on 7 March 2007, from http://itodi.est.ips.pt/det2006/papers/Physical/f87_PH2.pdf
- [93] Cham (2007). "Introduction to computational fluid dynamics". Retrieved on 3 July 2007, from <http://www.cham.co.uk/website/new/cfdintro.htm>

- [94] Zorriassatine, F. et al. (2003). "A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development." Proceedings of the I MECH E Part B. Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217(No.4), 1 April, pp. 513-530.
- [95] Vandeveldel, A., Dierdonck, R.V. and Clarysse, B. (2002). "The role of physical prototyping in the product development process," Vlerick Leuven Gent Management School Working Paper Series 2002-7, Vlerick Leuven Gent Management School.
- [96] Anderl, R., K. Mecke, and L. Klug. (2006). "Advanced prototyping with parametric prototypes." Digital Enterprise Technology (DET). Setúbal, Portugal. September 18-20. Retrieved on 1 May 2007, from http://todi.est.ips.pt/det2006/papers/Physical/f102_PH4.pdf
- [97] Wallentin, L. (1999). Development and Use of Modular Prototype System. Retrieved on 16 October 2011 from <http://www.md.kth.se/~larsw/licavhandling.pdf>
- [98] Grimm, T. A. (2005). "Virtual Versus Physical: Will Computer-Generated Virtual Prototypes Obsolete Rapid Prototyping." Time-Compression Technologies, Vol. 13 (No.2).
- [99] Jennings, B. and Bourne, K. (2001). "Virtual prototyping Vs. physical prototyping." Time-Compression Technologies. Vol. 6 (No. 4) May, 2001, pp. 28-31
- [100] Colombo, G. and Cugini, U. (2005). "virtual humans and prototypes to evaluate ergonomics and safety." Journal of Engineering Design. Vol. 16 (No. 2), pp. 195-207.
- [101] Lin et al (2005)
- [102] Weck, M. and Kuhlen, T. (2000). "Virtual prototyping of tool machines with force feedback." Retrieved on 2 August 2007, from http://www.rz.rwth-aachen.de/vr/research/projects/wzl_e.php?navbar=off
- [103] Halttunen, V. and Tuikka, T. (2000) "Augmenting virtual prototyping with physical objects." Retrieved on 3 May 2007, from http://delivery.acm.org/10.1145/350000/345363/p305-halttunen.pdf?key1=345363&key2=3337941911&coll=GUIDE&dl=GUIDE,ACM&CFID=1608912&CF_TOKEN=35168491
- [104] Invention-home 2006
- [105] Jain, S. (2005). "Integrating Simulation and Physical Testing Leads to Shorter Design Cycles." Time-compression technologies. Vol. 13(No. 3)
- [106] Syan, C.S., "Introduction to concurrent engineering," in C.S.Syan and U. Menon, eds. Concurrent Engineering - Concepts, implementation and practice, pages 3-24, Chapman and Hall, London, UK, 1994.
- [107] Magrab, Edward B., Integrated Product and Process Design and Development : The Product Realization Process, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1997.
- [108] Ishii, Kosuke, "Modeling of concurrent engineering design," in Andrew Kusiak, editor, Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques, pages 19-39. John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [109] Hauptman, O. and K.K.Hirji, "The Influence of Process Concurrency on Project Outcomes in Product Development: An Empirical Study of Cross-Functional Teams," IEEE Transactions on Engineering Management, vol 43, no 2, pages 153-164, May 1996.
- [110] Ball, M., M.A.Fleischer and D.G.Church, "A product design system for optimization-based tradeoff analysis," 2000 ASME Design Engineering Technical Conference", Baltimore, Maryland, Sept. 10-13, 2000.
- [111] Minis, I., J.W. Herrmann, G. Lam, and E. Lin, "A Generative Approach for Concurrent Manufacturability Evaluation and Subcontractor Selection," Journal of Manufacturing Systems, vol 18, no 6, pages 383-395, 1999.
- [112] Tan, Gek Woo, Caroline C. Hayes and Michael Shaw, "An Intelligent- Agent Framework for Concurrent Product Design and Planning," IEEE Transactions on Engineering Management, vol 43, no 3, pages 297-306, August 1996.
- [113] Tan, Gek Woo, Caroline C. Hayes and Michael Shaw, "Concurrent product design," IEEE Potentials, pages 9-12, April/May 1997.
- [114] Cutkosky, M.R. and J.M.Tenenbaum, "Providing Computational Support for Concurrent Engineering," International Journal of Systems Automation: Research and Automation (SARA) 1, pages 239-261, 1991.
- [115] Brookes, N.J. and C.J.Backhouse, "Understanding concurrent engineering implementation: a case study approach," International Journal of Production Research, vol 36, no 11, pages 3035-3054, 1998.
- [116] arken, Rudolph and Christian J. Darken, "VR + AI = intelligent environments: A synergistic approach to engineering design support," SPIE, vol 2653, pages 292-300, 1996.
- [117] Doan, N.W., M.I.G.Bloor and M.J.Wilson, "A Strategy for the Automated Design of Mechanical Parts," 2nd ACM Solid Modeling Conference, pages 15-21, Montreal, Canada, 1993.
- [118] O'Grady Peter et al., "An advice system for concurrent engineering," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 4, no. 2, pages 63-70, 1991.

- [119] Soundar, P., and Han P. Bao, "Concurrent design of products for manufacturing system performance," Proceedings of the IEEE 1994 International Engineering Management Conference, pages 233-240, Dayton, Ohio, October 17-19, 1994.
- [120] Wei, Yui and P.J.Egbelu, "A framework for estimating manufacturing cost from geometric design data," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 13, no. 1, pages 50-63, 2000.
- [121] Jong-Yun Jung, Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features, Journal of Intelligent Manufacturing, 13, 227-238, 2002.
- [122] M.Germani, M.Mandolini P.Cicconi, Manufacturing cost estimation during early phases of machine design, Proc ICED 2011, 15-18 August 2011, Technical University of Denmark.
- [123] P.Cicconi, M.Germani, M.Mandolini, Knowledge-based tool for cost estimation in agile product design, Proc CARV 2009.
- [124] Ehrlenspiel K, Design for cost. Springer Verlag, New York, 1985.
- [125] Hundal M, Designing to cost. Concurrent Engineering, Parsaei H. and Sullivan W. (eds.), Chapman&Hall, 1993, 329-351.
- [126] Rush C, Roy R. Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle. Proc of Concurrent Engineering Conference, 2000.
- [127] Duverlie P, Castelain J. Cost estimation during design step: parametric method versus case based reasoning method. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15, 895-906.
- [128] Niazi A, Dai JS, Balabani S, Seneviratne L. Product cost estimation: technique classification and methodology review. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2006, 128, 563-575.
- [129] Cheung WM, Newnes LB, Mileham AR, Marsh R, Lanham JD. Cost estimation in product development: academic research and commercial systems evaluation. Proc. of DET2007, 19-21 September 2007, University of Bath.
- [130] Weustink IF, Ten Brinke E, Streppel AH, Kals HJJ. A generic framework for cost estimation and cost control in product design. Journal of Material Processing Technology, 2000, 103, 141-148.
- [131] Wierda L. Linking design, process planning and cost information by feature-based modelling. Journal of Engineering Design, 1991, 2, 3-19.
- [132] Layer A, Haasis S, Van Houten F. Feature-based, design-concurrent cost calculations using case-based reasoning. Proc. of DECT/DFM'01, ASME 2001 Design Engineering Technical Conference, Pittsburgh 9-12 September 2001, 163-172.
- [133] Ten Brinke E. Costing support and cost control in manufacturing: a cost estimation tool applied in the sheet metal domain. Ph.d Thesis, University of Twente, 2002.
- [134] Leibl P. Cost calculation with a feature-based CAD system using modules for calculation, comparison and forecast. Journal of Engineering Design, 1999, 10, 93- 102.
- [135] Kiritsis D, Xirouchakis P. Deviplan: a bid preparation system for mechanical SME. Proc. of DECT/CIE'00, ASME 2000, Design Engineering Technical Conference, Baltimore 10-13 September, 2000, 1-12.
- [136] Watson P, Curran R, Murphy A, Cowan S. Cost Estimation of Machined Parts within an Aerospace Supply Chain. Concurrent Engineering, 2006, 14, 17-26
- [137] Germani M, Otto HE, Mandorli F. Product families: a cost estimation tool to support the configuration of solution phase. Proc. of ICED 2003, Stockholm 19-21 August.
- [138] Shehab A, Abdalla E. An intelligent knowledge-based system for product cost modelling. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 19, 49-65.
- [139] Mauchand M, Siadat A, Bernard A, Perry N. Proposal for tool-based method of product cost estimation during conceptual design. Journal of Engineering Design, 2008, 19, 159-172.
- [140] Castagne S, Curran R, Rothwell A, Price M, Benard E, Raghunathan S. A generic tool for cost estimating in aircraft design. Research in Engineering Design, 2008, 18, 149-162.
- [141] Michele Germani, Marco Mandolini and Paolo Cicconi, MANUFACTURING COST ESTIMATION DURING EARLY PHASES OF MACHINE DESIGN, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED11, 2011.
- [142] Pahl G, Beitz W, Feldhusen J, Grote K-H, Engineering Design: a systematic approach, 2007.
- [143] Robert B. Stone, A heuristic method for identifying modules for product architectures, Design Studies Vol 21 No 1 January 2000
- [144] J. Labuttis, Ergonomics as element of process and production optimization, 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015.
- [145] W. Goggin, P. Spielholz, G.L. Nothstein, Estimating the effectiveness of ergonomics interventions through case studies: Implications for predictive cost-benefit analysis, Journal of Safety Research, 39, 2008, pp. 339-334.

- [146] Beevis, Ergonomics—Costs and Benefits Revisited, *Applied Ergonomics*, 34, 2003, pp. 491-496.
- [147] Schneider and X. Irastorza, *Osh in Figures: Work-related Musculoskeletal Disorders in the EU – Facts and Figures*, 2010, Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work. Accessed in August 2017, Available online at: <https://osha.europa.eu/it/tools-and-publications/publications/reports/TERO09009ENC>
- [148] W. Hubbard, *The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It*, John Wiley & Sons, 2009.
- [149] OSHA, Ergonomics Program Standard, 29 CFR Part 1910.900, 2000. Accessed in September 2017, Available online at https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=federal_register&p_id=14638,
- [150] A. Hasson, P. Asterland, N.G. Holmer, S. Skerfving. Validity, reliability and applications of an inclinometer based on accelerometers. In: Hagberg M, Knave B, Lillienberg L, Westberg H, eds. X2001—Exposure Assessment in Epidemiology and Practice. Stockholm, Sweden: National Institute for Working Life S-112, 79, 2001, pp. 405–407
- [151] C. Cohen, C.C. Gjessing, L.J. Fine, B.P., Bernard, J.D. McGlothlin, Elements of ergonomics programs: A promoter based on workplace evaluations of musculoskeletal disorders. National Institute for occupational safety and health (NIOSH), publication No.97-117, 1997.
- [152] Johnson, M. Hagberg, E. Wigaeus Hjelm, D. Rempel. Measuring and characterising force exposures during computer mouse use. *Scand J Work Environ Health*, 26, 2000, pp. 398–405.
- [153] M. Bongers, A.M. Kremer, J. Ter Laak. Are psychosocial factors risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow or hand/wrist? A review of the epidemiological literature, *American Journal of Industrial Medicine*, 41(5), 2002, pp. 315-342.
- [154] National Research Council and The Institute of Medicine (NRC-IM), *Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities*. Panel on Musculoskeletal Disorders and the workplace. Commission on Behavioral and Social Sciences and education. National Academy Press, Washington, DC, 2001. Accessed in September 2017, Available online at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222440/>
- [155] D. Huang, M. Feuerstein, W.J. Kop, K. Schor, F. Arroya, Individual and work organization factors in work-related musculoskeletal symptoms, *American Journal of Industrial Medicine*, 43, 2003, pp. 495-506.
- [156] Yeow, N. Sen Rabindra, Quality, Productivity, Occupational health and safety, and cost effectiveness of ergonomic improvements in the test workstations of an electronic factory, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 32, 2003, pp. 147-163.
- [157] Jaffar, A.H. Abdul-Tharim, I.F. Mohd-Kamar, N.S. Lop, A Literature Review of Ergonomics Risk Factors in Construction Industry, *Procedia Engineering* 20, 2011, pp. 89-97.
- [158] .L. Chee, K.G. Rampal, A. Chandrasakaran, Ergonomic Risk Factors of Work Processes in the Semiconductor Industry in Peninsular Malaysia, *Industrial Health*, 42 (3), 2004, pp.373-381, doi.org/10.2486/indhealth.42.373.
- [159] IEA, International Ergonomic Association, 2016. What is Ergonomics? Available at <http://www.iea.cc/whats/index.html>, assessed in January 2017
- ISO 31000, Risk Management – Principles and guidelines, International Standard Organization, 2009.
- [160] R. Wilson, Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31, 2000, pp. 557-567.
- [161] Battini, M. Faccio, A. Persona, F. Sgarbossa, New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41 (1), 2011, pp. 30-42, DOI 10.1016/j.ergon.2010.12.001.
- [162] H. Grosse, C.H. Glock, M.Y. Jaber, W.P. Neumann, Incorporating human factors in order picking planning models: Framework and research opportunities, *International Journal of Production Research*, 53 (3), 2015, pp. 695-717.
- [163] Maudgalya, A. Genaidy, R. Shell, Productivity-quality-cost-safety: a sustained approach to competitive advantage e a systematic review of the National Safety Council's case studies in safety and productivity, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 18 (2), 2008, pp. 52-179.
- [164] A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, H.W. Hendrick. *Handbook of human factors and ergonomics methods*, Eds. 2004, CRC press.
- [165] C. Falck, M. Rosenqvist, A model for calculations of the costs of poor assembly ergonomics, *Int. J. Industrial Ergonomics*, 44 (1), 2014, pp.140-147.
- [166] H. Snook, Ciriello, The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weight and forces, *Ergonomics*, 34, 1991, pp. 1197-1213.
- [167] Hignett, L. McAtamney, Rapid entire body assessment (REBA), *Appl. Ergonomics*, 31, 2000, pp. 201-205.

- [168] E. Occhipinti, OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs, *Ergonomics*, 41 (9), 1998, pp. 1290-1311.
- [169] S. Moore, A. Garg, The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 56, 1995, pp. 443.
- [170] Kemmlert, A method assigned for the identification of ergonomic hazards – PLIBEL, *Appl. Ergonomics*, 126, 1995, pp. 199-211.
- [171] Borg, Physical performance and perceived exertion, *Studia Psychologica et Paedagogica*, series altera, Investigationes XI, Gleerup, Lund, Sweden, 1962.
- [172] H. Rodgers, Recovery time needs for repetitive work, *Semin. Occup. Med.*, 2, 1987, pp. 19- 24.
- [173] Frievalds, Y. Kong, H. You, S. Park. A comprehensive risk assessment model for work-related musculoskeletal disorders of the upper extremities. *Ergonomics for the New Millennium. Proceedings of the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, San Diego CA, USA, July 29 –August, 2000 Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, USA, Vol. 5.*
- [174] Seth, J.M. Vance, J.H. Oliver, Virtual reality for assembly methods prototyping: a review, *Virtual Reality*, 15, 2011, pp. 5-20, DOI 10.1007/s10055-009-0153-y
- [175] Chaffin, G. Andersson, B. Martin. *Occupational Biomechanics*, 3rd edn. New York: John Wiley, 1999.
- [176] O. Demirel, V.G. Duffy, Applications of Digital Human Modeling in Industry, in *Proceedings of First International Conference on Digital Human Modeling, ICDHM 2007, HCI International 2007, Beijing, China, July 22-27, 2007*, pp. 824-832, DOI 10.1007/978-3- 540-73321-8_93.
- [177] Ferrise, M. Bordegoni, U. Cugini, Interactive Virtual Prototypes for Testing the Interaction with new Products, *Computer-Aided Design and Applications*, 10 (3), 2013, pp. 515-525.
- [178] Grajewski, F. Górski, P. Zawadzki, A. Hamrol, Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces, *Procedia Computer Science*, 25, 2013, pp. 289-301.
- [179] Aromaa, K. Vaananen, Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design, *Applied Ergonomics*, 56, 2016, pp. 11-18.
- [180] Budziszewski, A. Grabowski, M. Milanowicz, J. Jankowski, Workstation for people with disabilities: an example of a virtual reality approach, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22 (3), 2016, pp. 367-373, DOI 10.1080/10803548.2015.1131069.
- [181] C. Martin, D.C. Burkert, K.R. Choi, N.B. Wiecezorek, P.M. McGregor, R.A. Hermann, P.A. Berling, A Real-time Ergonomic Monitoring System using the Microsoft Kinect, *Proceedings of the 2012 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, University of Virginia, Charlottesville, VA, USA, April 27, 2012*, DOI: 10.1109/SIEDS.2012.6215130.
- [182] Haggag, M. Hossny, S. Hahavandi, D. Creighton, Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect, *2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 2013, DOI: 10.1109/UKSim.2013.105.
- [183] Guastello, A. Shircel, M. Malon, P. Timm, Individual differences in the experience of cognitive workload. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 16 (1), 2004, pp. 20-52
- [184] Sandblad, J. Gulliksen, C. Åborg, I. Boivie, J. Persson, B. Göransson, I. Kavathatzopoulos, S. Blomkvist, Å. Cajander. Work environment and computer systems development. *Behaviour and Information Technology*, 22 (6), 2003, pp. 375-387.
- [185] R.Schonberg, best practices McGraw-Hill Irwin and Irwin Professional Publishing, 2008
- [186] Labuttis, J., Ergonomics as element of process and production optimization, *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015.*
- [187] Goggin, R. W., Spielholz, P., Nothstein, G. L., Estimating the effectiveness of ergonomics interventions through case studies: Implications for predictive cost-benefit analysis, *Journal of Safety Research* 39 (2008) 339–34
- [188] Beevis, D., Ergonomics—Costs and Benefits Revisited, *Applied Ergonomics* 34 (2003) 491–496
- [189] IEA, International Ergonomic Association, 2016. What is Ergonomics? Available at <http://www.iea.cc/whats/index.html>, assessed in January 2017
- [190] Murrell, K. F. H., *Human performance in industry*. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1965
- [191] Wilson, J.R., Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31, 2000, pp. 557-567
- [192] Yeow, P. H. P., Sen, R. N., Quality, Productivity, Occupational health and safety, and cost effectiveness of ergonomic improvements in the test workstations of an electronic factory, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol 32, 2003, pp. 147-163

- [193] Geng, J., Zhoua, D., Lv, C., Wang, Z., A modeling approach for maintenance safety evaluation in a virtual maintenance environment, *Computer-Aided Design*, Volume 45, Issue 5, May 2013, Pages 937–949
- [194] Marzano, A., Agyapong-Kodua, K., Ratchev, S., Virtual Ergonomics and Time Optimization of a Railway Coach Assembly Line, *Procedia CIRP*, Volume 3, 2012, Pages 555–560
- [195] Di Gironimo, G., Lanzotti, A., Vanacoreb, A., Concept design for quality in virtual environment, *Computers & Graphics*, Volume 30, Issue 6, December 2006, Pages 1011–1019
- [196] Ferrise, F., Bordegoni, M., Cugini, U., Interactive Virtual Prototypes for Testing the Interaction with new Products, *Computer-Aided Design and Applications*, 10 (3), 2013, pp. 515-525
- [197] Aromaa, S., Vaananen, K., Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design, *Applied Ergonomics*, 56, 2016, pp. 11-18
- [198] Grajewski, D., Górski, F., Zawadzki, P., Hamrol, A., Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces, *Procedia Computer Science*, 25, 2013, pp. 289-301
- [199] Budziszewski, P., Grabowski, A., Milanowicz, M., Jankowski, J., Workstation for people with disabilities: an example of a virtual reality approach
- [200] McAtamney, L., Corlett, RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Appl. Ergonomics*, 24, 1993, pp. 91-99
- [201] Snook, S.H., Ciriello, The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weight and forces, *Ergonomics*, 34, 1991, pp. 1197-1213
- [202] Hignett, S., McAtamney, L., Rapid entire body assessment (REBA), *Appl. Ergonomics*, 31, 2000, pp. 201-205
- [203] Martin, C.C., Burkert, D.C., Choi, K.R., Wieczorek, N.B., McGregor, P.M., Hermann, R.A., Berling, P.A., A Real-time Ergonomic Monitoring System using the Microsoft Kinect, *Proceedings of the 2012 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium*, University of Virginia, Charlottesville, VA, USA, April 27, 2012, DOI: 10.1109/SIEDS.2012.6215130
- [204] Haggag, H., Hossny, M., Hahavandi, S., Creighton, D., Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect, 2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 2013, DOI: 10.1109/UKSim.2013.105
- [205] Wang, X., Ong, S.K., Nee, A.Y.C., Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface, *Advanced Engineering Informatics*, 30 (3), 2016, pp. 406-421
- [206] Rosenthal, S., Kane, S.K., Wobbrock, J.O., Avrahami, D., Augmenting on-screen instructions with micro-projected guides: when it works, and when it fails, *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '10)*, 2010, pp. 203-212
- [207] Loch, F., Quint, F., Brishtel, I., Comparing video and augmented reality assistance in manual assembly, *Proceedings - 12th International Conference on Intelligent Environments, IE 2016*, 2016, pp. 147-150
- [208] Miller, A., White, B., Charbonneau, E., Kanzler, Z., LaViola Jr., J.J., Interactive 3D model acquisition and tracking of building block structures, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18 (4), 2012, pp. 651-659
- [209] Adas, H.A., Shetty, S., Hargrove, S.K., Virtual and Augmented Reality Based Assembly Design System for Personalized Learning, *Science and Information Conference 2013*, October 7-9, 2013, London, UK
- [210] Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41 (1), 2011, pp. 30-42, DOI 10.1016/j.ergon.2010.12.001
- [211] Jaffar, N., Abdul-Tharim, A.H., Mohd-Kamar, I.F., Lop, N.S., A Literature Review of Ergonomics Risk Factors in Construction Industry, *Procedia Engineering* 20, 2011, pp. 89-97
- [212] Cohen, A.C., Gjessing, C.C., Fine, L.J., Bernard, B.P., McGlothlin, J.D., Elements of ergonomics programs: A promer based on workplace evaluations of musculoskeletal disorders. National Institute for occupational safety and health, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-117, 1997
- [213] Hangberg, M., Silverstein, B., Wells, R., Smith, M.J., Hendrick, H.W., Carayon, P., et al., Work related musculoskeletal disorders (WMSDs). Taylor and Francis, Inc. 2002
- [214] Borgers, P.M., Kremer, A.M., Laak, J.T., Are psychosocial factors risk factors symptoms and signs of the shoulder, elbow or hand/wrist? A review of epidemiological literature. *American Journal of Industrial Medicine*, 45(5), 2002, pp. 315-342
- [215] National Research Council and The Institute of Medicine. *Muskeloskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities. Panel on Musculoskeletal Disorders and workplace. Commussion on Behavioral and Social Science and education.* National Academy Press, Washington, DC, 2001
- [216] Microsoft Kinect, <https://developer.microsoft.com/it-it/windows/kinect>, January 2017
- [217] Inertial Intersense, <http://www.intersense.com/>, January 2017

- [218] Animazoo-Gypsy7 exo-skeletal, <http://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system.htm>, December 2016
- [219] Vicon Optical tracking, <https://www.vicon.com/>, January 2017
- [220] DELMIA, <http://www.3ds.com/products-services/delmia/>
- [221] McAtamney, L. and Corlett, 1993, RULA : a suvery method for the investigation of work-related upper limb disordes, *App. Ergonomics*, 24, 91-99
- [222] PMBoK® 6th edition, Project Management Institute, 2017