



Università di Pisa
Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in
Ingegneria Meccanica

Studio del ciclo e della linea di montaggio per l'industrializzazione del motore Piaggio M648

Sintesi della Tesi di Laurea Specialistica

Relatori:

Prof. Ing. Michele Lanzetta
Dipartimento di Ingegneria Meccanica,
Nucleare e della Produzione

Candidato:

Daniele Urso

Domenico Bartoli

Tecnologie di produzione - Piaggio & C. S.p.A.

Anno Accademico 2009-2010

Indice

Elenco delle figure

0	Introduzione	1
1	Background e letteratura	2
2	Il metodo sviluppato e il lavoro svolto	3
3	La modellazione delle fasi di montaggio	4
4	La configurazione della linea di montaggio	6
5	Il metodo Niosh applicato alla linea 1 di montaggio	8
6	I risultati ottenuti e le conclusioni	9
	Bibliografia	11

Elenco delle figure

1	Tabella di confronto fra vari metodi CAAP	2
2	Diagramma di flusso del metodo CAAP proposto.	3
3	Fase di posizionamento dei semicarterm su pallet di linea e accanto dispositivo di piantaggio dei due grani del coperchio, del cuscinetto albero rinvio e del perno cavalletto.	5
4	Stazione di stampigliatura su semicarterm lato trasmissione e accanto il controllo della quota di piantaggio del cuscinetto albero rinvio, effettuato tramite calibro passa-non passa.	5
5	Stazione automatica di avvitatura delle viti, nella fase di accoppia- mento dei due carterm, ed accanto il serraggio della vite di fermo del cuscinetto, eseguito con avvitatore ad angolo.	6
6	Controllo del gioco assiale dell'albero motore mediante comparatore, e accanto il serraggio del grano calibrato mediante avvitatore a pistola.	6
7	Tabella conclusiva delle soluzioni possibili	7
8	Gantt attività svolte dal secondo operatore	7
9	Contenitore per semicarterm accoppiati e vista della postazione 1	8
10	Ciclo di montaggio ottimizzato	9
11	Diagramma di confronto fra il sistema aziendale prima e dopo l'introduzione del metodo sviluppato.	10
12	Indice di sollevamento Niosh per la prima e la quarta postazione in linea 1	10

Sommario

Il reparto assemblaggio motori di Piaggio & C. S.p.A, nella fase di industrializzazione del nuovo motore M648, ha proposto l'introduzione di un nuovo metodo per l'analisi delle fasi di montaggio e per lo studio delle attrezzature e delle macchine necessarie.

Tale esigenza è nata in quanto la progettazione delle attrezzature, dei macchinari e della stessa linea di montaggio viene affidata a fornitori esterni.

Si presentano, dunque, problematiche legate all'aspettativa da parte dell'azienda committente, alla riservatezza delle informazioni che devono essere fornite insieme all'ordine, e ad eventuali ritardi in cui si può incorrere per incomprensioni fra le parti.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di migliorare il ciclo di montaggio, generando un'immagine 3D per ogni fase di lavoro, mediante l'utilizzo di un software di modellazione CAD.

In tal modo, puntando sulla chiarezza della documentazione da inviare nella fase di richiesta delle attrezzature, ci si attende di ridurre drasticamente i tempi d'attesa per le forniture.

Nella fase successiva del presente lavoro si è determinato il numero di postazioni necessarie sulla linea di montaggio, la cadenza di produzione effettuando un confronto fra le diverse soluzioni fattibili.

Infine è stato applicato il metodo Niosh alle postazioni della linea di montaggio analizzata. Tale metodo consente di valutare il rischio connesso alle operazioni di movimentazione manuale di carichi, sulla base del calcolo di un indice di sollevamento.

Abstract

The engine assembly department of Piaggio & C. S.p.A. in the industrialization phase of the new engine M648, propose the introduction of a new method for the analysis of assembly phases and for the studies of the necessary machines and equipments.

This exigency is arosed because the design of equipments, machinery and the same assembly line was entrusted to outside suppliers.

We have, therefore, issues related to the expectations of the buyer, confidentiality of informations that they be provided with the order and any delays which can occur for misunderstandings between the parties.

The purpose of this work is to improve the assembly cycle, generating a 3D image for each phase of work, by using the modeling software CAD.

Thus, focusing on clarity of documentations to be sent during application equipment, is expected to reduce drastically the time of supplies.

In the next phase of this work it has been calculated the number of stations needed on the assembly line, the production rate comparing between different feasible solutions.

Finally, NIOSH method was applied to the workstations of the assembly line analyzed. This method allows to assess the risks associated with manual handling of loads, based on the calculation of an index lifting.

0. Introduzione

Il processo di montaggio di un motore è molto articolato e coinvolge la fase di progettazione, quella di produzione, della sicurezza sul lavoro e tutte le attività connesse al reperimento delle attrezzature, dei macchinari e dell'intera linea di montaggio.

Il gruppo Piaggio & C. S.p.A., nel processo di industrializzazione del nuovo motore M648 da 350 c.c., ha avvertito l'esigenza di sviluppare un nuovo metodo per lo studio del ciclo di montaggio.

Nella presente tesi vengono analizzate tutte le operazioni di montaggio con particolare attenzione alle macchine, alle attrezzature necessarie e ai tempi di montaggio. La politica aziendale prevede che la progettazione delle attrezzature, dei macchinari e della stessa linea di montaggio venga affidata a fornitori esterni, data la loro complessità e le risorse necessarie in termini sia di investimento economico, che di tempo e know-how. Attualmente la documentazione che Piaggio & C. S.p.A. invia ai fornitori si compone di: specifiche tecniche delle attrezzature, disegni 2D dei particolari del motore, alcune parti del ciclo di studio preliminare di montaggio. Si comprende che data la mancanza di un modello 3D dell'attrezzatura richiesta, si può incorrere in incomprensioni fra le parti interessate, con conseguente parziale o completa difformità della fornitura rispetto alle aspettative dell'azienda committente.

Pertanto l'intento del presente lavoro è quello di migliorare il ciclo di montaggio, corredandolo di immagini 3D, che riproducano le varie fasi di montaggio, includendo le macchine e le attrezzature da richiedere ai fornitori.

A tal fine sono state progettate e modellate (a livello di bozza) tutte le parti dell'attrezzatura e delle macchine necessarie sulla linea di montaggio. In questa fase si è prestata particolare attenzione agli ingombri e agli eventuali problemi di interferenza fra attrezzature e parti del motore.

In seguito sono state assemblate tutte le parti create posizionando e riferendo i componenti del motore rispetto all'attrezzatura, per riprodurre in ambiente virtuale le varie fasi del montaggio.

La seconda parte della tesi è incentrata sull'analisi dei tempi di montaggio della linea e sul calcolo del numero di stazioni necessarie e della relativa cadenza. Sono state prese in considerazione differenti soluzioni di layout, analizzando pro e contro per ognuna di essa, e scegliendo quella ottimale, tenuto conto dei vincoli legati alla richiesta giornaliera massima di 320 *motori/gg*.

Il gruppo Piaggio & C. S.p.A., nella fase di avvanprogetto della linea di montaggio del motore M648 intende rispettare le normative vigenti in materia di prevenzione della salute dei dipendenti sul luogo di lavoro, con particolare attenzione alla movimentazione manuale ripetuta dei carichi. A tal proposito, nella parte finale del presente lavoro, è stato applicato il metodo Niosh (vedi [3]) per l'analisi di tutte le operazioni che comportano la movimentazione manuale di carichi gravosi (fra i 3 *Kg* e 25 *Kg*) lungo la linea 1 di accoppiamento dei semicarterm. Dapprima sono stati calcolati gli indici di sollevamento per le postazioni in cui vengono sollevati carichi gravosi, in modo da verificare di rimanere al di sotto dei limiti previsti dalla normativa [4]. Successivamente è stata proposta una soluzione migliorativa per i contenitori dei semicarterm e degli alberi motore, posti a bordo linea.

1. Background e letteratura

METODI CAAP	STRUMENTI SOFTWARE	VANTAGGI	SVANTAGGI
SYSTEM I-VAPTS	<ul style="list-style-type: none"> - CAD SOLIDWORKS - VR (VIRTUAL ENVIRONMENT) - AF (ASSEMBLY FLOOR) 	<ul style="list-style-type: none"> - L'OUTPUT E' UN VIDEOCLIP CHE MOSTRA LE VARIE FASI DI MONTAGGIO 	<ul style="list-style-type: none"> - DIFFICOLTA' NELLA CONVERSIONE DEI FILE CAD NEI VARI FORMATI (VR E AF) - PERDITA DI ALCUNE INFORMAZIONI NELLA CONVERSIONE (COLORI, VINCOLI,...) - IMPOSSIBILITA' DI INDIVIDUARE LE COLLISIONI FRA LE PARTI.
WORKSPACE	<ul style="list-style-type: none"> - WORKSPACE - CAD (SOLIDWORKS O PROENGINEER) 	<ul style="list-style-type: none"> - L'OUTPUT E' UN VIDEO - FACILE ACQUISIZIONE DA CAD 	<ul style="list-style-type: none"> - CREAZIONE DELLA MOVIMENTAZIONE DELLE PARTI LABORIOSA - DIFFICOLTA' DI GESTIRE FILE MOLTO PESANTI - PERDITA DI ALCUNE INFORMAZIONI NELL'IMPORTAZIONE IN WORKSPACE
VIRTUAL PROCESS WEEK	<ul style="list-style-type: none"> - UBM Interfaccia - CAD CATIA - 4D NAVIGATOR - PSN 	<ul style="list-style-type: none"> - CONCURRENT ENGINEERING 	<ul style="list-style-type: none"> - TEMPI LUNGHETTI PER LA PREPARAZIONE DEI MODELLI E DEI DATI - ELEVATO NUMERO DI SOFTWARE DA GESTIRE CONTEMPORANEAMENTE
METODO SVILUPPATO	<ul style="list-style-type: none"> - CAD PROENGINEER - MICROSOFT POWER POINT - MICROSOFT EXCEL 	<ul style="list-style-type: none"> - FACILE REPERIMENTO DEI SOFTWARE - NON SI HA PERDITA DI INFORMAZIONE NELLA TRASFORMAZIONE DA CAD A .JPEG - PIENA CAPACITA' DI UTILIZZO DEGLI STRUMENTI DI PROENGINEER (COLLISION DETECTION, MASS PROPERTIES, DISTANCE ANALYSIS ecc.) - L'OUTPUT PUO' ESSERE VIDEO O IMMAGINE - BASSO TEMPO MODELLAZIONE 	<ul style="list-style-type: none"> - DISPENDDIO DI TEMPO PER LA PREPARAZIONE DEI MODELLI E DEI DATI (CIRCA 600 h) - MAGGIORE RESPONSABILIZZAZIONE DEGLI ADDETTI DEL MONTAGGIO NELLA FASE DI RICHIESTA DELLE ATTREZZATURE AI FORNITORI.

Figure 1: Tabella di confronto fra vari metodi CAAP

In letteratura sono molti i casi di utilizzo di strumenti CAD come supporto alla pianificazione e industrializzazione di una linea di montaggio di un prodotto. Bisogna però precisare che fino a pochi anni fa, non si disponeva di strumenti informatici tali da gestire modelli 3D in maniera facile e veloce direttamente su CAD. I metodi CAAP (Computer Aided Assembly Planning) presenti in letteratura, quindi, risultano spesso laboriosi poiché necessitano dell'utilizzo di più software comunicanti fra loro, in ognuno dei quali vengono gestite separatamente le informazioni circa le geometrie, i vincoli e le posizioni delle varie parti da assemblare. Fra i casi di maggior interesse se ne riportano alcuni di seguito. I vantaggi e gli svantaggi sono stati riassunti nella tabella di figura 1.

System I-VAPTS. Questo metodo proposto e descritto in [7] si serve di tre ambienti software in serie. Nel primo si modellano i componenti, gli utensili sul CAD *Solidworks*® della *Dassault Systemes*, inserendo tutte le relazioni di vincolo fra le parti e di posizione. Nella seconda fase, i modelli CAD vengono importati in ambiente virtuale dove gli oggetti sono rappresentati attraverso una serie di semplici poligoni. Nella fase finale si acquisisce il video di simulazione delle fasi di montaggio, trasferendo il file dall'ambiente virtuale all'ambiente 'Assembly Floor'. Tale metodologia oltre ad essere particolarmente lunga, presenta diverse difficoltà: nella trasformazione dei file CAD in file leggibili in VR (Virtual Reality) si perdono le informazioni relative ai colori degli oggetti, ad alcuni vincoli, quote, posizioni e orientamenti fra le parti.

Virtual Process Week. Questo metodo CAAP è stato presentato dalla divisione sperimentale sul veicolo di BMW in [10].

Anche in questo caso le parti vengono modellate su CAD *CATIA*® della *Dassault Systemes* e, a supporto di questo è stata utilizzata un'interfaccia UBM per descrivere le fasi del processo di montaggio, il sistema PSN (Product Structure Navigator) che consente di visualizzare la lista ad albero dei componenti che si vuole

visualizzare. I file CATIA 3D vengono convertiti in un formato dove le immagini sono composte da triangoli. Questo per alleggerire file composti da innumerevoli quantità di modelli. Tutto il processo di preparazione dei file costa a livello di tempi circa 1200 h.

Workspace. Questo software prodotto dalla *Wat Solutions* consente di simulare il processo di montaggio generando un videoclip per ogni stazione di montaggio. L'utilizzo di un qualsiasi strumento CAD commerciale per le preparazione dei modelli e l'importazione di questi nel software *Workspace*[®] consente la realizzazione, per ogni task, di un apposito file. La movimentazione e la sincronizzazione dei giunti o dei componenti viene gestita attraverso dei segnali di comunicazione input-output su 10 canali. Pertanto questo software ben si presta a simulare processi non molto complessi e articolati.

2. Il metodo sviluppato e il lavoro svolto

Il metodo proposto e utilizzato per la creazione dei modelli 3D delle fasi di montaggio del nuovo motore Piaggio M648 è stato schematizzato nel diagramma in figura 2. Gli strumenti informatici che sono stati utilizzati sono: il software *Proengineer*[®]

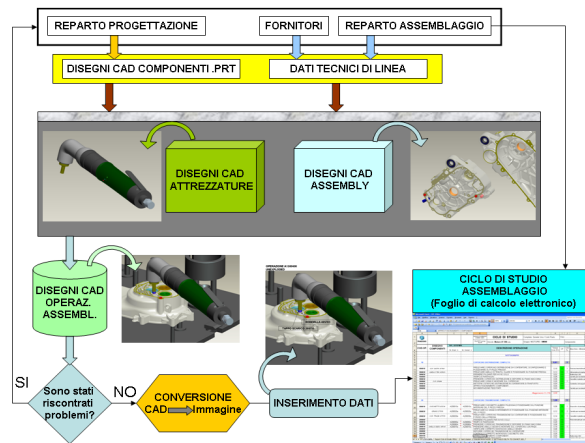


Figure 2: Diagramma di flusso del metodo CAAP proposto.

[8], prodotto dalla *Parametric Technology Corporation*, per la modellazione CAD dei componenti e delle attrezzature, un software di scrittura per riportare il codice di ogni particolare e per numerare le operazioni, un foglio elettronico di calcolo per la compilazione del ciclo di montaggio.

Attualmente all'interno della Direzione Motori di Piaggio & C. S.p.A, sia la progettazione che le tecnologie utilizzano il software di modellazione CAD suddetto, e solo in occasione della presente tesi il reparto assemblaggio è stato dotato di questo strumento.

Di seguito si riportano gli step seguiti per compilare il ciclo di montaggio del motore M648, corredato con le immagini 3D delle fasi di lavoro.

1. Acquisizione dei modelli CAD 3D dei componenti del motore da assemblare. Il CAD è connesso ad un database attraverso una rete intranet, in modo che ogni utente autorizzato possa accedere ai file .prt (parti) e .asm (assiemi) creati dal reparto progettazione.

2. Studio preliminare e modellazione CAD delle attrezzature necessarie in linea di montaggio. Nella fase di dimensionamento delle attrezzature bisogna fare riferimento all'ingombro dei componenti da assemblare e ai vincoli presenti.

3. Creazione di un file .asm (assieme) per ogni fase del ciclo di montaggio, dove sono stati rappresentati i componenti del motore e le attrezzature che vengono utilizzate. In tal modo ad ogni file è associato il codice di riferimento della task, e si rende indipendente la modellazione di una fase rispetto alla successiva. I dati relativi ai vincoli e alle quote di montaggio sono stati reperiti dal disegno del complessivo 2D del motore. Lo strumento 'View Manager' di *Proengineer*[©] consente di creare una vista esplosa ed una inesplosa dei componenti da montare in ogni operazione.

4. Le due viste 3D create vengono acquisite e salvate come immagine.

5. Le immagini vengono importate nel software di scrittura e arricchite con le informazioni relative al codice della fase di lavoro e dei componenti da montare. Per ogni fase di montaggio, si acquisiscono le due immagini (in vista esplosa e inesplosa).

6. Si compila il ciclo di montaggio sul foglio di calcolo elettronico definendo il codice dell'operazione, la sua descrizione, il codice dei disegni 3D, i tempi per ogni task, le attrezzature necessarie e il preventivo di spesa per il loro acquisto. Per inserire e associare le immagini precedentemente create alle corrispondenti fasi del ciclo di montaggio, si utilizzano dei commenti interattivi, inseriti nelle apposite celle. In tal modo basta spostare il cursore sulla cella dell'operazione di interesse, per visualizzare l'immagine 3D della fase di montaggio nella vista esplosa e inesplosa.

7. Il videoclip del montaggio è stato generato servendosi dell'applicazione 'Animation' di *Proengineer*[©]. A tal fine è stato necessario acquisire tutta la sequenza di immagini e di posizioni per ricreare punto punto la traiettoria, che i componenti da assemblare devono percorrere.

Il metodo proposto presenta numerosi vantaggi. Si nota, infatti, che non sono stati utilizzati ambienti virtuali aggiuntivi in cui trasferire i file creati, ma l'intero lavoro è stato svolto su CAD. Inoltre sono facilmente visualizzabili i problemi di ingombro e interferenza fra attrezzature e componenti da montare.

3. La modellazione delle fasi di montaggio

Il metodo descritto è stato applicato alla linea di montaggio del nuovo motore Piaggio M648. In particolare sono state modellate tutte le fasi di montaggio relative alla linea 1 di accoppiamento dei semicarterm e al sottogruppo di montaggio del coperchio trasmissione completo.

Le attrezzature che sono state modellate sono: il pallet di linea, gli avvitatori automatici a pistola e ad angolo, le quattro celle di piantaggio, i calibri passa-non passa per il controllo delle quote di piantaggio, la cella di avvitatura automatica, il comparatore per il controllo del gioco assiale dell'albero motore, la cella di stampigliatura, le spine di centraggio, il dispositivo di piantaggio del sottogruppo coperchio trasmissione, le pinze per il montaggio dell'anello seeger, il banco di lavoro.

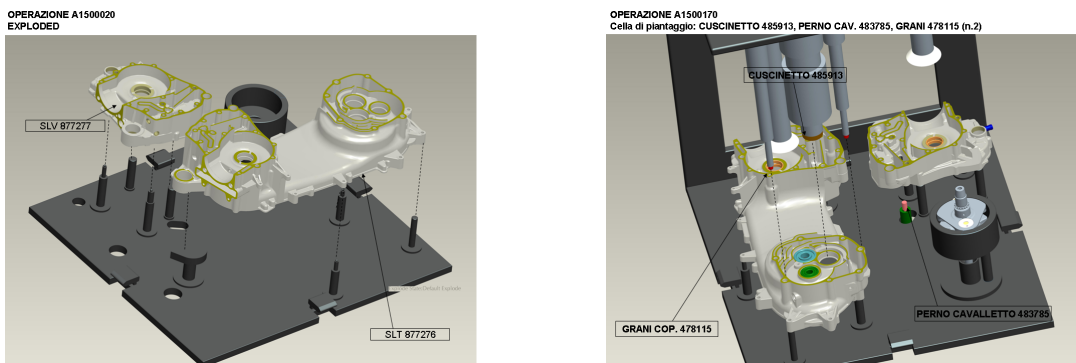


Figure 3: Fase di posizionamento dei semicarterm su pallet di linea e accanto dispositivo di piantaggio dei due grani del coperchio, del cuscinetto albero rinvio e del perno cavalletto.

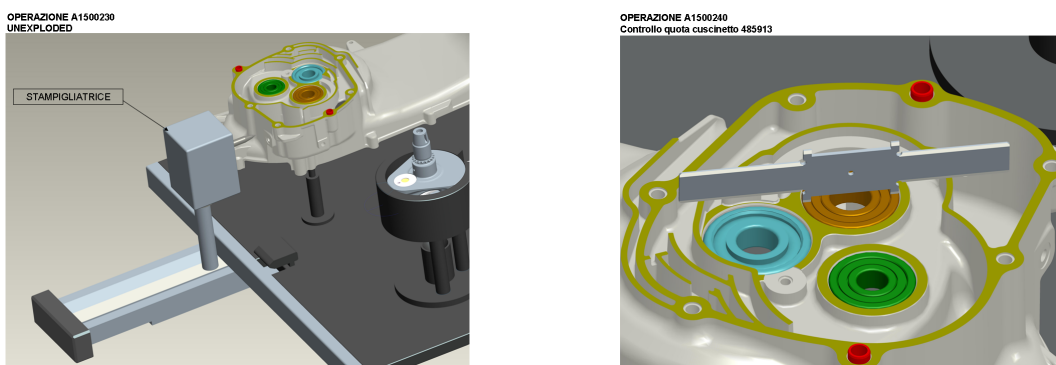


Figure 4: Stazione di stampigliatura su semicarterm lato trasmissione e accanto il controllo della quota di piantaggio del cuscinetto albero rinvio, effettuato tramite calibro passa-non passa.

Delle 80 fasi modellate si riportano le più significative in figura 3, 4, 5 e 6. Il pallet di linea, visibile in figura 3, sostiene il semicarterm lato volano e quello lato trasmissione, e l'albero motore. Ogni semicarterm viene riferito con due sostegni di centraggio e due sostegni di appoggio. Questi punti sui semicarterm sono stati scelti in modo da assicurare una sufficiente stabilità al pezzo nelle varie fasi di montaggio, e in modo da evitare possibili interferenze fra i pezzi e le attrezzature.

Alcuni componenti vengono piantati dal basso e il pallet è stato opportunamente forato per consentire la salita dei punzoni di piantaggio.

Si precisa che la progettazione e il dimensionamento dei calibri passa-non passa (vedi figura 4) per il controllo delle quote di piantaggio è stato eseguito secondo normativa UNI 7366–74 (vedi [5]). In particolare sono state analizzate le tolleranze di fabbricazione dei calibri sia sul lato passa, che sul lato non passa, e i logoramenti ammessi per i calibri e riscontri. Le quote nominali di piantaggio da controllare sono state ricavate, per ogni componente, dal complessivo 2D del motore.

Per il dimensionamento di massima e la modellazione degli avvitatori si è fatto riferimento a quanto indicato nei cataloghi della ditta fornitrice Stanley.

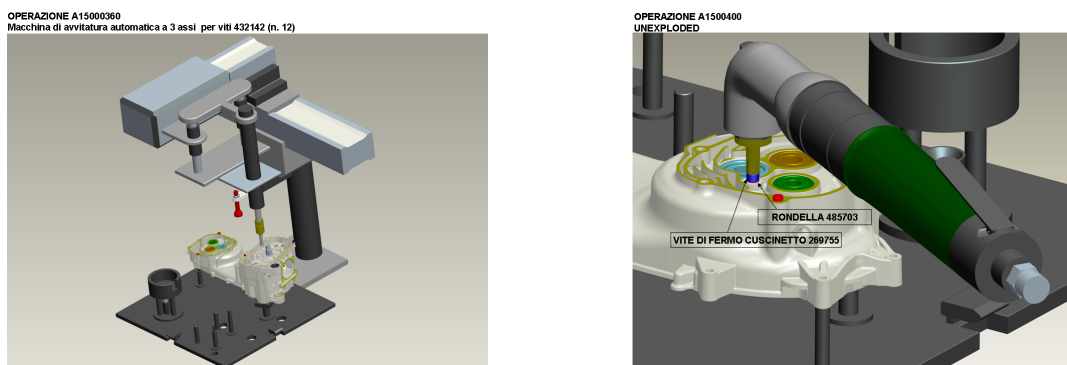


Figure 5: Stazione automatica di avvitatura delle viti, nella fase di accoppiamento dei due carter, ed accanto il serraggio della vite di fermo del cuscinetto, eseguito con avvitatore ad angolo.

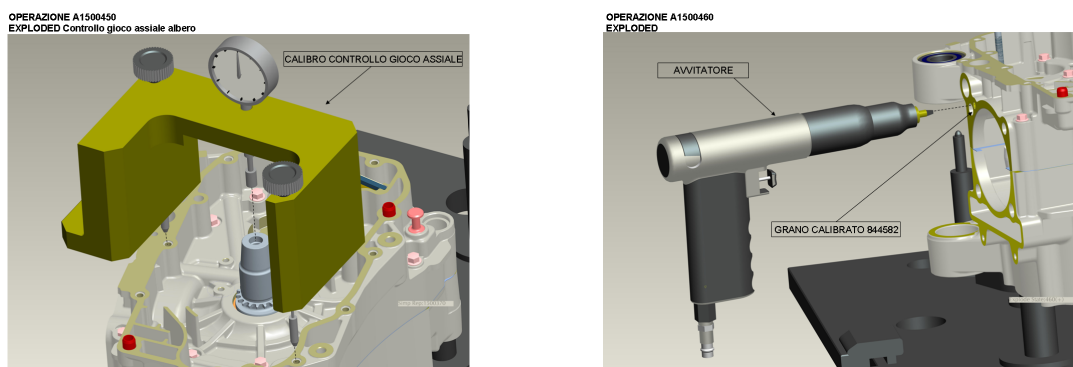


Figure 6: Controllo del gioco assiale dell'albero motore mediante comparatore, e accanto il serraggio del grano calibrato mediante avvitatore a pistola.

4. La configurazione della linea di montaggio

Nella seconda parte della presente tesi sono state studiate diverse possibili configurazioni per la linea di montaggio del motore M648 da 350 c.c. La linea di montaggio è ad anello e consta di due parti: la linea 1 di preparazione carter accoppiati, in cui vengono effettuati tutti i piantaggi e alcune operazioni manuali, e la linea 2 di completamento in cui vengono svolte le operazioni di avvitatura e montaggio manuale.

L'obiettivo è quello di determinare il numero di stazioni N_{st} di lavoro necessarie per ogni tratto di linea, in modo da assicurare una produttività minima di 320 motori/gg.

Esistono, però, una serie di vincoli legati al limitato spazio disponibile per la linea, al corretto bilanciamento dei due tratti di linea, alla riduzione dell'insaturazione sulle varie postazioni, allo stazionamento¹ della linea stessa, al tipo di turno di lavoro giornaliero (turno normale, due turni o un turno e mezzo). Bisogna precisare che per la realizzazione della linea di montaggio viene riutilizzata una linea già esistente. Nel calcolo del numero delle stazioni necessarie si è tenuto conto di questo ulteriore vincolo.

¹Lo stazionamento è l'operazione con cui si assegna ad ogni operatore un certo numero di task, e si calcola, per ognuno di essi, il tempo effettivo che impiega a svolgerle.

SOLUZIONE	LINEA 1			LINEA 2			N° turni	OSSERVAZIONI	
	N _{st}	TC (min/mot)	Pr (mot/gg)	I (min/mot)	N _{st}	TC (min/mot)			Pr (mot/gg)
A	4	1,6	372	1,3	26	1,8	334	1,5	• Soluzione ottimale che viene realizzata
B	4	1,6	496	1,3	26	1,8	446	2	• Eccesso di motori prodotti • Maggiore impiego di personale
C	4	1,6	496	4	19	2,4	326	2	• Elevata insaturazione delle postazioni sulla linea 1 • Maggiore impiego di personale • Inutilizzo di 7 postazioni attualmente esistenti sulla linea 2
D	3	2,2	368	1	22	2,1	368	2	• Stationamento operatori sulla linea 1 sbilanciato per presenza di vincoli • Il secondo operatore deve coprire un settore molto lungo della linea 1
E	5	1,3	330	0,6	36	1,3	329	1	• Soluzione fattibile con l'aggiunta di n. 10 postazioni sulla linea 2 rispetto a quelle attuali, ma irrealizzabile per mancanza di spazio

Figure 7: Tabella conclusiva delle soluzioni possibili

In tabella 7 sono indicate tutte le soluzioni analizzate al variare del numero di stazioni della linea 1, della linea 2 e del turno di lavoro. La soluzione scelta è stata evidenziata in azzurro.

È stato calcolato dapprima il tempo ciclo T_{cr} necessario ad assicurare la produzione

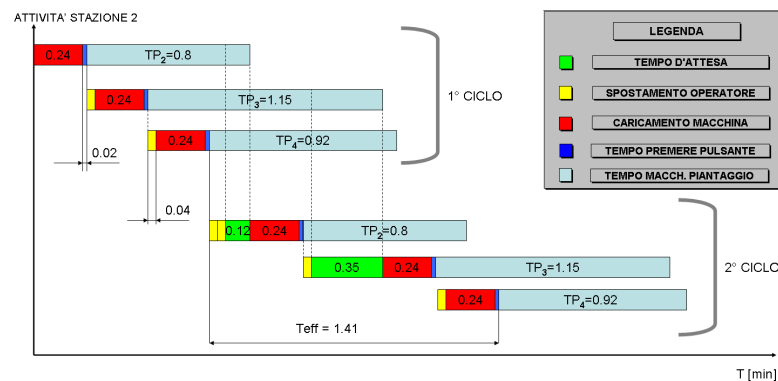


Figure 8: Gantt attività svolte dal secondo operatore

richiesta P_r di 320 *motori/gg* con la relazione 1.

$$T_{cr} = \frac{m}{P_r} \quad (1)$$

dove m è il tempo di lavoro giornaliero, espresso in minuti al giorno, epurato delle pause.

Il numero di stazioni necessarie a garantire il tempo ciclo richiesto è stato ottenuto con la relazione 2.

$$N_{st} = \frac{t_l \cdot c}{T_{cr}} \quad (2)$$

dove c è un coefficiente pari a 1,09 che tiene conto dell'impossibilità di saturare completamente le postazioni di lavoro, t_l è il tempo totale necessario a svolgere tutte

le attività previste dal ciclo di montaggio sulla linea considerata. Quest'ultimo è stato ottenuto come somma dei tempi t_i legati all'operazione i -esima (come da espressione 3).

$$t_l = \sum_i t_i \quad (3)$$

Il numero delle stazioni trovate in 2 è stato approssimato per eccesso ed, in base ad esso, si è ripetuto prima il calcolo per trovare il tempo ciclo reale invertendo la 2, e poi il calcolo per determinare la produttività giornaliera reale invertendo la 1. Questa procedura di calcolo è stata ripetuta più volte variando il t_l , per valutare la convenienza di lavorare su un turno giornaliero, su due turni o su un turno e mezzo.

L'insaturazione totale I sulla linea 1 è stata ottenuta come differenza fra il tempo totale t_l definito in fase preventiva e la somma dei tempi effettivi t_{eff_i} ricavati dallo stazionamento. In figura 8 si riporta un esempio di stazionamento effettuato sulla seconda postazione di montaggio della linea 1. Si nota che l'operatore della seconda stazione è addetto al caricamento di più dispositivi di piantaggio e che, mentre le macchine sono in funzione, svolge altre operazioni manuali. In questo modo i tempi macchina non vengono pagati interamente, ma incidono solo quando, all'arrivo dell'operatore, la macchina non è ancora disponibile ad essere caricata (tempi di attesa).

Lo stazionamento è stato effettuato per tutte le postazioni di lavoro dotate di dispositivi automatici di piantaggio e per tutte le configurazioni di linea analizzate.

5. Il metodo Niosh applicato alla linea 1 di montaggio

Nella parte finale è stato applicato il metodo Niosh per l'analisi di tutte le operazioni, che comportano la movimentazione manuale di carichi gravosi (fra i 3 Kg e 25 Kg) lungo la linea 1 di accoppiamento dei semicarterm.

Il primo passo ha visto il calcolo di tutte le masse dei componenti del motore, che

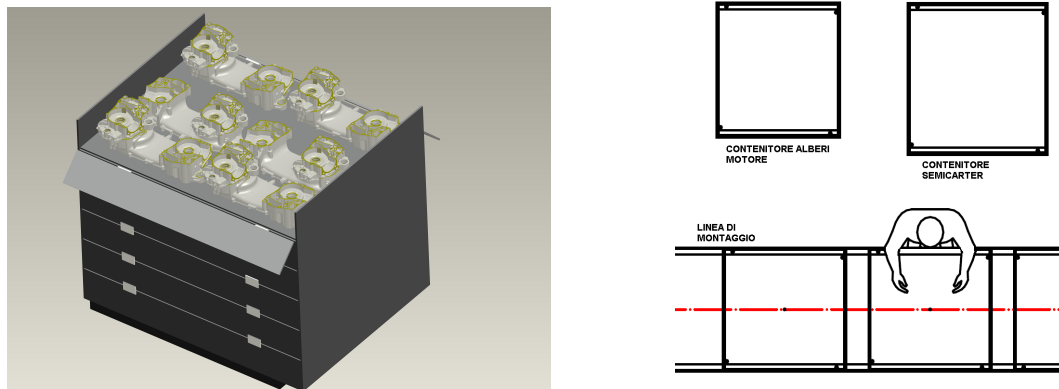


Figure 9: Contenitore per semicarterm accoppiati e vista della postazione 1

vengono sollevati dagli operatori. A tal fine ci si è serviti dell'applicazione 'mass property' del CAD utilizzato che, assegnata la densità, restituisce la massa di ogni componente.

I componenti gravosi sono il semicarterm lato trasmissione (SLT) la cui massa è di

7,5 Kg e l'albero motore di massa 3,5 Kg (sollevati nella prima postazione). In seguito al fine di rilevare le misure relative allo sbraccio durante la presa, alle altezze del punto di presa e di rilascio del carico, sono stati progettati e modellati appositi contenitori a sponde abbattibili per i semicarterm accoppiati (visibile in figura 9) e per gli alberi motore. Per il calcolo dell'indice di sollevamento Niosh è stato utilizzato un apposito foglio elettronico (si veda [3]). Inserendo tutti i dati precedentemente raccolti e i dati sui turni di lavoro, è possibile calcolare direttamente l'indice Niosh e verificare che questo sia al di sotto del limite di 0,85 previsto dalla normativa di riferimento UNI EN 1005-2 (vedi [4]), ISO standard 11228-1 (vedi [6]).

6. I risultati ottenuti e le conclusioni

PIAGGIO		MANUFACTURING/ASSEMBLY & MONT. MOT.		CICLO DI STUDIO		Compilato: Daniele Urso / Conti Paolo		Visto		Data: 18/06/09		Esp: 1	
		Mod.002 Tooling/Sp. No.011		Veicolo: Motore 4T 350 c.c.		Gruppo: MOTORE - M648		Componente		Prod. prev. 45330 mot./anno			
COD.OP.	DISEGNO COMPONENTI	DIS. ASSEMBL.		DESCRIZIONE OPERAZIONE	Tempo Ciclo (TC)	OP	Q.ta Pz.	PREVENTIVO SPESE					
		St. Esp. n.	St. Inesp. n.					Macchine - Attrezzature - Calibri	Q.tà				
		A1500240_3	A1500240_4										
		A1500240_5	A1500240_6										
		A1500240_7	A1500240_8										
		A1500240_9	A1500240_10										
1500250		A1500250_1	A1500250_2	ESEGUIRE CON ATTREZZO IL CONTROLLO DEI FORI DELLE BRONZINE (DA ESEGUIRE SU TUTTI I MOTORI DI BIAI)	0,02			Attrezzo controllo fori lubrificazione bronzine	1		250,00		
1500266				ESEGUIRE 1 PUNTO DI VERNICE SUL MOTORE (DA ESEGUIRE SU TUTTI I MOTORI DI BIAI)	0,01			Banco da lavoro (REC)	1		600,00		
1500270				VERIFICARE POSIZIONE BRONZINE	0,04			Pressetta manuale per base riparazione	1		3000,00		
1500280				INGRASSARE CON PENNELLO I SEMCUSCINETTI SUI SEMICARTER L.V. E L.T.	0,06			Rit. punzoni manuali di riparazione	1		4000,00		
1500290	MOLLA 48695 VALVOLA 826961	A1500290e	A1500290u	PRENDERE N.1 MOLLA E MONTARE SU VALVOLA REGOLAZIONE PRESSIONE OLIO, POSIZIONARE IL GRUPPO SUL CARTER	0,14	2							
1500300	SUPPORTO 877704	A1500300e	A1500300u	PRENDERE SUPPORTO A LAMELLE E MONTARE SU SLT	0,10	1							
1500310	GUARNIZ. 873871	A1500310e	A1500310u	OPERAZIONE A1500320 UNEXPLODED	0,09	1							
1500320		A1500320e	A1500320u		0,06			Spine di servizio per guarnizione	5		250,00		
1500330		A1500330e	A1500330u		0,10								
1500340		A1500340e	A1500340u		0,16								
1500350		A1500350e	A1500350u		0,04								
1500360	VITI 432142	A1500360e	A1500360u		0,49	12							
1500370	FILTRO ASP. 877822	A1500370e	A1500370u		0,02	1							
1500380	LAMIERINO 877823	A1500380e	A1500380u		0,12	1							
1500390	TAPPI CONICI 411311	A1500390e	A1500390u		0,12	1,69							
1500400	TAPPO SCAR. 269756 RONDELLA 449703	A1500400e	A1500400u		0,50	3		Avvitatore pneumatico completo di accessori e centralina di oggettivazione	1		€ 6.000,00		
1500410	TAPPO LIV. APH150394 RONDELLA 873805	A1500410e	A1500410u		0,18	2		Avvitatore pneumatico completo di accessori e centralina di oggettivazione	1		€ 6.000,00		
1500420		A1500420e	A1500420u		0,18	2		Avv. pneumatico (lo stesso del tappo scar.)					
1500430					0,12			Chiave torsionometrica per viti accopp.	1		300,00		
1500440				PRENDERE VERBALE DA PALLET DI LINEA, CONTROLLARE CORRESPONDENZA N. VERBALE MOTORE CON N. STAMPAGLIATO, INSERIRE ALISTA E POSIZIONARE SUL MOTORE.	0,15			Avvitatore pneumatico completo di accessori e centralina di	1		€ 6.000,00		

Figure 10: Ciclo di montaggio ottimizzato

Il ciclo di montaggio, mostrato in figura 10, è stato ottimizzato associando le immagini 3D create (in vista esplosa e inesplosa) alle corrispondenti operazioni di montaggio. Questo documento ha portato numerosi vantaggi:

1. La modellazione delle attrezzature e delle fasi di montaggio semplifica e migliora la comunicazione fra Piaggio & C. S.p.A. e i fornitori, con conseguente riduzione dei tempi d'attesa per l'attrezzaggio.
2. Le immagini e i videoclip delle fasi di montaggio generati possono essere utilizzati per addestrare il personale sulla linea di montaggio.
3. Piaggio & C. S.p.A. ha avvertito l'esigenza di riutilizzare il metodo proposto per valutare le modifiche da apportare alle attrezzature esistenti in vista dello sviluppo di una nuova gamma di motori, da produrre in India. Si può, dunque, affermare che il lavoro svolto sul motore M648 si configura come un progetto 'pilota' per l'applicazione del metodo proposto alla futura produzione.
4. L'assemblaggio dei componenti e la modellazione delle attrezzature è servita da *design review* del progetto. In particolare il modello 3D del motore M648 è stato modificato per soddisfare specifiche esigenze del montaggio.

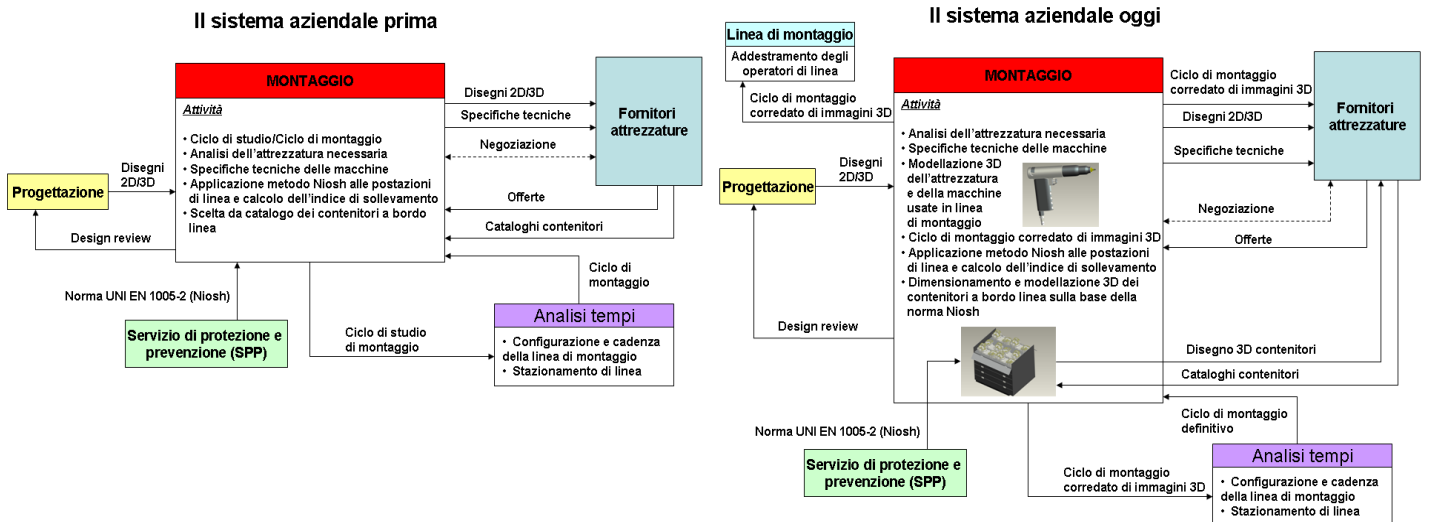


Figure 11: Diagramma di confronto fra il sistema aziendale prima e dopo l'introduzione del metodo sviluppato.

5. Il ciclo di montaggio ottimizzato può essere utilizzato dal reparto analisi tempi per studiare lo stazionamento di linea. Esso costituisce, dunque, un documento definitivo, utile a descrivere il ciclo di fabbricazione del motore M648.

6. Il presente lavoro ha contribuito a migliorare l'organizzazione del sistema aziendale. Dai diagrammi di figura 11 si può notare la differenza fra il sistema usato in passato e quello proposto.

European Standard: EN 1005-2; ISO Standard: 11228-1			
25	Maschi (18-45 anni)	1,06	RISCHIO PRESENTE
20	Femmine (18-45 anni)	1,33	RISCHIO PRESENTE
20	Maschi (<18 o >45 anni)	1,33	RISCHIO PRESENTE
15	Femmine (<18 o >45 anni)	1,77	RISCHIO PRESENTE
Lifting equation originale NIOSH			
23	NIOSH original	1,15	RISCHIO PRESENTE

Figure 12: Indice di sollevamento Niosh per la prima postazione in linea 1

La maggiore criticità riscontrata nell'applicazione del metodo alla linea di montaggio del motore M648 è legata alla crescente responsabilizzazione dei dipendenti del montaggio, nella fase di progettazione e modellazione delle attrezzature, e al tempo necessario per svolgere questa attività.

La configurazione scelta per la linea di montaggio vede l'utilizzo di 4 stazioni di lavoro per la linea 1 e di 26 stazioni per la linea 2, con un tempo ciclo di linea pari a 1,82 min/motore, lavorando su un turno e mezzo. Tale soluzione assicura una produzione giornaliera di 334 motori e rispetta tutti i vincoli presenti.

Dal risultato del calcolo dell'indice Niosh sulla prima postazione (mostrato in figura 12) si evince che il limite di 0,85 previsto dalla normativa [4] viene superato. Pertanto è necessario intervenire con delle misure preventive per eliminare il rischio. A tal proposito è stato proposto l'utilizzo di un sistema di sollevamento a portale per il trasferimento del semicaratter lato trasmissione sul pallet di linea.

Bibliography

- [1] A. Armilotta, G. Moroni (Elsevier 2005), *Computer Aided assembly planning for the diemaking industry*. Politecnico di Milano, Milano (Italy)
- [2] D. Colombini, S.Cairoli *Disturbi e patologie muscolo-scheletriche del rachide da movimentazione manuale di carichi*. Unità di Ricerca Ergonomia della postura e del movimento, Milan (Italy)
- [3] D. Colombini, E. Occhipinti, N. Battevi, M. Cerbai, M. Fanti, O. Menoni, M. Placci *Movimentazione manuale dei carichi - Manuale operativo per l'applicazione del DECRETO LEGISLATIVO 81/08*. Unità di Ricerca Ergonomia della postura e del movimento, Milan (Italy)
- [4] Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) (2003), *UNI EN 1005-2*.
<http://www.uni.com/it/>.
- [5] Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) (1974), *UNI 7366-74*.
<http://www.uni.com/it/>.
- [6] International Organization for Standardization (ISO) (2003), *ISO 11228-1*.
<http://www.iso.org/>.
- [7] J.S.Liu, Y.X. Yao, P.J. Xia, J.G. Li (Springer-Verlag London 2005), *A pragmatic system to support interactive assembly planning and training in an immersive virtual environment(I-VAPTS)*. School of Mechanical and Elettrical Engineering, Harbin (China).
- [8] Parametric Technology Corporation (2006), *Proengineer*©,
<http://www.ptc.com/products/proengineer/>.
- [9] W.C.Regli V.A. Cicirello (Elsevier 1999), *Managing digital libraries for computer aided design*. Drexel University, Philadelphia (USA)
- [10] Rehinard Grandl (Pergamon 2001), *Virtual process week in the experimental vehicle build at BMW AG*. Experimental Vehicle Division BMW, Munich (Germany)
- [11] Sebastien Gebus, Kauko Leiviska (Elsevier 2009), *Knowledge acquisition for decision support system on elettronic assembly line*. University of Oulu, Oulu (Finland)