



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI,  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Definizione ed implementazione di un'area produttiva  
secondo la logica "Lean": il caso insourcing dei  
pannelli in Rotork Fluid Systems S.r.l.***

**SINTESI**

---

RELATORI

Prof. Ing. Gionata Carmignani  
*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia,  
dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni*

Sig. Christian Fregosi  
*Head of Lean Manufacturing  
Rotork Fluid Systems S.r.l.*

IL CANDIDATO

Andrea Neri  
*a.neri92@virgilio.it*

# **Definizione ed implementazione di un'area produttiva secondo la logica "Lean": il caso insourcing dei pannelli in Rotork Fluid Systems S.r.l.**

**Andrea Neri**

---

## **Sommario**

Questo lavoro di tesi è il risultato dell'esperienza svolta presso l'azienda Rotork Fluid Systems S.r.l. di Porcari (LU), specializzata nella progettazione e produzione di attuatori idraulici, pneumatici, elettroidraulici e di sistemi di controllo di elevata qualità. In seguito all'analisi del flusso del valore "as-is" in azienda, è stata individuata l'opportunità di internalizzazione del processo di assemblaggio dei pannelli di controllo e di riduzione delle attività a non valore aggiunto. A tale scopo è stata progettata e realizzata un'area appositamente studiata per tale processo, svolgendo inoltre un'analisi di tempi e metodi per la definizione di un ciclo di lavoro e dei parametri necessari alla definizione di un algoritmo, capace di calcolare un tempo standard affidabile per l'assemblaggio dei pannelli.

Il progetto ha consentito di migliorare l'intero processo di montaggio, riducendone le attività a non valore aggiunto e il lead time, grazie alla ottimizzazione delle postazioni di assemblaggio e alla definizione di tempi standard in linea con le diverse tipologie di commesse.

## **Abstract**

This thesis work is the result of the experience carried out at the Rotork Fluid Systems S.r.l. of Porcari (LU), specialized in the design and production of hydraulic, pneumatic, electro-hydraulic actuators and high quality control systems. Following the analysis of the "as-is" value flow in the company, the opportunity to internalize the process of assembling the control panels and reducing non-value added activities was identified. For this purpose, an area has been designed and created specifically for this process, also carrying out an analysis of times and methods for defining a work cycle and the parameters necessary for the definition of an algorithm, capable of calculating a standard time reliable for panel assembly. The project has made it possible to improve the entire assembly process, reducing the non-value added activities and lead time, thanks to the optimization of assembly workstations and the definition of standard times in line with the different types of orders.

## 1. L'azienda Rotork

Rotork S.p.A. è un'azienda metalmeccanica con sede a Bath, Regno Unito, leader nella produzione di attuatori e nel controllo dei fluidi. I suoi prodotti sono utilizzati nei settori dell'Oil & Gas, produzione di energia elettrica, trattamento e distribuzione delle acque, dell'industria marittima e mineraria. Il gruppo Rotork è composto da quattro divisioni specializzate nella progettazione e produzione di attuatori: Controls, Fluid Systems, Gears e Instrument. L'azienda possiede certificazioni ISO 9001:2015 e ISO/TS 29001:2011, specifica tecnica per i Sistemi di gestione per la Qualità dedicata al settore Oil & Gas.

Nel 1999 Rotork acquisisce l'azienda italiana Fluid Systems s.r.l., che diviene parte della divisione Rotork Fluid Systems. L'azienda nel corso degli anni va incontro ad una costante crescita che la porta a diventare uno dei più grandi produttori di attuatori in tutto il mondo con un'ampia gamma di prodotti disponibili, tra i quali attuatori pneumatici, idraulici, elettro idraulici, lineari, a cremagliera, a singolo e doppio effetto. L'azienda opera seguendo una logica ETO (engineering to order), definendo le specifiche insieme al cliente, progettando e producendo i prodotti richiesti. In tale ambito gli aspetti relativi alla gestione del flusso informativo, tempi di consegna, controllo di avanzamento della produzione e la programmazione della produzione risultano fondamentali. Rotork Fluid Systems, seguendo un programma di crescita dell'azienda a livello globale, è da tempo impegnata in progetti volti alla massimizzazione della flessibilità e dell'efficienza del processo produttivo seguendo le logiche del **lean manufacturing**.

### 1.1 Attuatori e sistemi di controllo

Per attuatore si intende un dispositivo capace di trasformare un segnale in ingresso in un'azione che varia lo stato di funzionamento di un dispositivo o impianto. Uno dei prodotti core di Rotork Fluid Systems è l'attuatore modello GP/GH, che può essere scomposto in più elementi: Il corpo (carter) ha il compito di trasmettere il moto, convertendolo da lineare a rotatorio tramite un sistema a glifo o cremagliera. È collegato alla valvola attraverso un accoppiamento.

Il cilindro è l'elemento progettato per resistere alla pressione del fluido di alimentazione (aria o olio) che esercita la sua azione su un pistone collegato al corpo attraverso uno stelo, la cui corsa genera il moto che modifica lo stato della valvola.

L'ultimo elemento è il contenitore molla, presente solo negli attuatori a singolo effetto. In questo caso si ha una fase attiva in cui viene fornita pressione e una passiva nella quale è la molla a muoversi, bilanciando la pressione della linea. Nel doppio effetto invece si hanno

due fasi attive dove è necessario fornire pressione alle due camere del cilindro per muovere il pistone.

Sulla macchina è prevista l'installazione di sistemi di controllo, utilizzati per conferire all'attuatore la sua logica di funzionamento. Rappresentano il principale fattore di personalizzazione della macchina e sono assemblati su un pannello o in un cabinet e montati successivamente sull'attuatore o in una posizione remota. In figura 1 è riportato un esempio di attuatore con pannello di controllo montato a bordo macchina.



Figura 1

## 2. Il progetto di internalizzazione dell'assemblaggio pannelli

### 2.1 Introduzione

Nell'ottica del processo di miglioramento continuo Rotork ha individuato le maggiori criticità nel processo di secondo montaggio, che costituisce la fase di personalizzazione dell'attuatore. Allo stato attuale l'assemblaggio dei pannelli di controllo e il montaggio a bordo macchina sono affidati in parte in outsourcing generando costi ingenti di trasporto e di gestione delle ditte esterne, oltre che un incremento del lead time, a causa di una insufficiente capacità produttiva per quanto concerne i pannelli.

Pertanto, lo scopo del progetto è quello di incrementare la capacità produttiva per internalizzare il processo, progettando ed implementando un'area studiata appositamente per l'assemblaggio dei pannelli di controllo, con postazioni organizzate.

L'intero progetto è svolto seguendo la logica **PDCA** (Plan, Do, Check, Act).

Il primo step è stato l'identificazione di una famiglia di prodotti rappresentativa tramite l'analisi dei dati storici, seguendo la regola 80/20, su cui eseguire **l'analisi del flusso del valore** per individuare i principali obiettivi di miglioramento. Successivamente si è analizzato nel dettaglio il processo di assemblaggio dei pannelli, eseguendo una serie di rilievi dei tempi per la stesura di un **ciclo di lavoro** e la determinazione dei parametri con i quali eseguire il calcolo del tempo standard. Infatti, i pannelli di controllo, essendo progettati sulla base dell'ordine del cliente, sono prodotti a configurazione variabile per i quali è problematico definire dei tempi standard, che fino ad oggi erano basati su stime empiriche. Per questo

motivo si è scelto di studiare un **algoritmo** basato sulle operazioni elementari che l'operatore è chiamato a svolgere, in modo da fornire una base attendibile da cui poter stimare il tempo di assemblaggio. I risultati ottenuti dall'algoritmo sono stati poi validati confrontandoli con i tempi rilevati. Si è proseguito con la definizione del **layout** della nuova area, delle sue postazioni e delle regole di gestione. L'attività successiva, in seguito allo start up della nuova area, è stata il **monitoraggio e analisi** per alcune settimane delle prestazioni del processo, valutando il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

## 2.2 Analisi as is

In fase di analisi iniziale è stata identificata la famiglia di prodotti che costituisce l'80% del volume, che corrisponde ai pannelli con un range di componenti da 5 a 10, sulle quali si è svolta la mappatura del flusso di valore (Value Stream Mapping). La *Value Stream Map* costituisce uno strumento utile per definire le opportunità di miglioramento e gli interventi da intraprendere per arrivare allo stato futuro desiderato, rappresentando il set di azioni che sono richieste per trasformare un prodotto da materia prima a prodotto finito per il cliente.

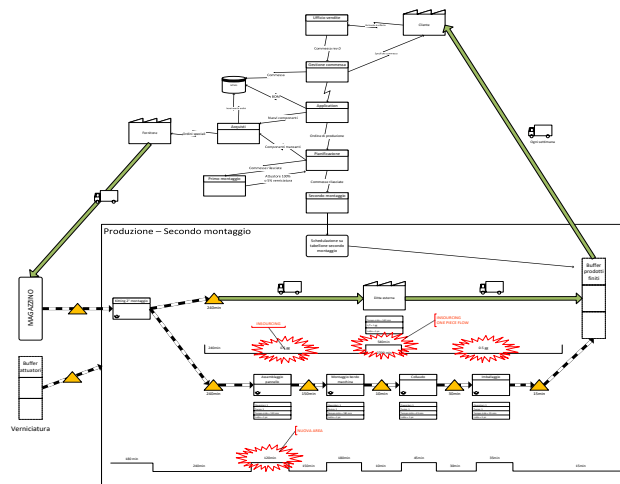


Figura 2

In figura 2 è rappresentata la VSM per la famiglia di prodotti identificati. I dati sono stati raccolti sul campo seguendo l'intero processo di secondo montaggio.

Il rapporto VA/NVA risulta essere del 55% per il secondo montaggio svolto internamente e del 20% per quello affidato in outsourcing. Avendo una ripartizione del 50-50 tra commesse realizzate internamente e in outsourcing, il rapporto VA/NVA totale risulta essere del 37,5%.

I punti di intervento individuati sono quelli dell'internalizzazione del processo di assemblaggio pannelli attraverso un incremento della capacità produttiva, con la progettazione e implementazione di un'area appositamente studiata per tale processo. In questo modo si prevede di raggiungere un rapporto VA/NVA almeno pari a quello

individuato per il processo svolto internamente (55%), oltre che un incremento di efficienza del processo stimato nel 30%, dato dalla realizzazione di postazioni organizzate.

L'internalizzazione consente inoltre l'assemblaggio del prodotto secondo la logica *One Piece Flow*, ovvero un pezzo alla volta, ottenendo così una riduzione del lead time e delle scorte inter-operazionali, oltre che la messa in evidenza delle problematiche legate a macchinari e manodopera che generalmente in una produzione a lotti tendono a rimanere nascoste.

## 2.3 Analisi economica

Sono stati identificati i costi sostenuti per il processo di secondo montaggio svolto esternamente, andando poi a stimare i benefici attesi dal progetto. Calcolando la spesa sostenuta in media per i trasporti negli ultimi due anni, il risparmio sulla manodopera (in termini di differenza sia di ore necessarie che di costo orario ridotto) e quello relativo al personale Rotork impiegato nella gestione delle ditte esterne, si è ottenuta una stima per il saving annuale pari a 281.386 €.

## 2.4 Pianificazione

Il team di progetto prevede la presenza di un *core committee*, costituito dai manager delle funzioni interessate (logistica, produzione, acquisti, ufficio tecnico, H&S), che hanno il compito di definire gli obiettivi e il piano di azione, e membri delle funzioni coinvolte dedicati allo svolgimento delle attività pianificate dal core committee. L'impostazione del progetto e delle sue attività è stata stabilita tramite un *Brainstorming* iniziale, coinvolgendo tutto il team. Successivamente, per pianificare la sequenza di attività e assicurarne gli sviluppi è stato utilizzato il diagramma di *Gantt*, che consente di definire i tempi di completamento, i vincoli temporali e le responsabilità.

# 3. Analisi tempi e metodi

## 3.1 Pianificazione dei rilievi

Per ogni azione di miglioramento di un processo produttivo un aspetto fondamentale è conoscere e misurare il lavoro, ovvero l'impiego delle risorse produttive.

Per farlo le informazioni necessarie includono la natura e risultato atteso dell'operazione da svolgere, l'inizio e durata di impiego previsto delle risorse da impiegare nell'operazione, l'inizio e durata di impiego reale delle risorse impiegate nell'operazione. L'aspetto critico del processo di assemblaggio dei pannelli in Rotork è risultato essere la definizione di un *tempo standard*, fino ad allora assegnato in base a stime empiriche. A tale scopo si è ritenuto

necessario scomporre le fasi del processo individuandone le attività elementari e andando a stabilire una serie di parametri che, in base ai dati a disposizione, consentissero di fornire una stima affidabile del tempo previsto per l'assemblaggio. Si è svolta quindi la pianificazione dei rilievi, concentrata sulla famiglia di pannelli con 5-10 componenti.

### 3.2 Svolgimento dei rilievi

La metodologia utilizzata per il rilievo dei tempi è stata la tecnica cronometrica **Bedaux**. Essa prevede la raccolta contemporanea sia del tempo impiegato che del giudizio sulle prestazioni dell'operatore (passo). Questa operazione deve essere svolta più volte per ottenere un numero adeguato di rilievi, in modo che la media aritmetica possa restituire un valore indicativo del tempo necessario a svolgere una determinata operazione, a cui applicare poi il passo che determinerà il *tempo normale*. Successivamente sono stabilite le maggiorazioni da applicare al tempo normale per ottenere il *tempo standard*, che si suddividono in quelle per *affaticamento*, *imprevisti* e *fabbisogni* (ricavate tramite apposite tabelle).

Per eseguire i rilievi in modo efficace è necessario definire il ciclo di lavoro, ovvero l'elenco di operazioni che si ripetono periodicamente e la loro ciclicità, ovvero ogni quanti cicli esse si ripetono. Ciò è stato fatto tramite una serie preliminare di rilievi, grazie ai quali è stato possibile affinare e verificare il ciclo di lavoro, individuandone le fasi seguenti: verifica documentazione; innesto componenti; montaggio componenti su piastra; taglio, piegatura e sbavatura tubi; assemblaggio e ogivatura tubi di connessione; targhettatura.

Ad esse si è andata successivamente ad aggiungere la fase di collaudo per la verifica di perdite e funzionalità del pannello, che è stata implementata nella nuova area.

### 3.3 Definizione dell'algoritmo

Per la costruzione dell'algoritmo sono state individuate le informazioni fornite dall'ufficio tecnico in fase di definizione della commessa, che il sistema gestionale ha a disposizione per svolgere il calcolo. Queste corrispondono al numero di componenti e numero di tubi (relativi al solo pannello e non di collegamento alla macchina). Per ciascuna fase è stato individuato il calcolo, in base a tali informazioni, per restituirne il tempo standard.

Dato il n° di avvitature e di componenti, per ogni rilievo è stata calcolata la media di avvitature per ciascun componente, confrontandola poi con quella degli altri rilievi. In seguito, è stato calcolato il tempo unitario necessario per ciascuna avvitatura, andando ad estrapolare dal rilievo dei tempi quello relativo alle macrofasi "Innesto dei componenti" e

“Assemblaggio componenti su piastra”. Lo stesso procedimento è stato seguito per le fasi relative alla lavorazione e assemblaggio dei tubi di connessione, per i quali si è considerata la media del tempo rilevato per la lavorazione e l’assemblaggio di ciascun tubo, in modo da definirne un tempo unitario. Per l’operazione di targhettatura si è calcolato allo stesso modo il tempo medio, considerando che il numero di targhette è uguale al numero di componenti.

$$T_{\text{algoritmo}} = a * b * n^{\circ} \text{componenti} + c * n^{\circ} \text{componenti} + d * n^{\circ} \text{tubi} + e + f$$

*a = n° di avvitature in media per componente*

*b = tempo medio richiesto per ogni avvitatura*

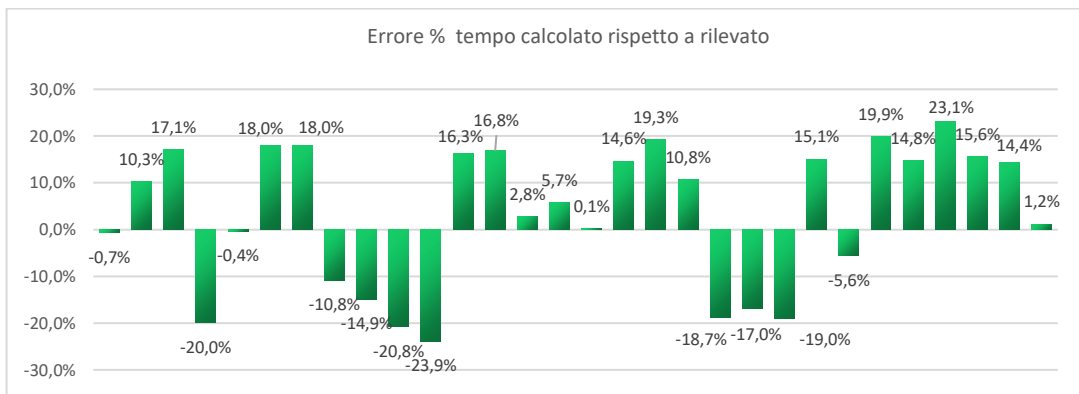
*c = tempo medio richiesto per montaggio targhetta*

*d = tempo medio richiesto per lavorazione e montaggio tubo*

*e = tempo medio richiesto per controllo documentazione (apertura su PC degli schemi e controllo disposizione componenti)*

*f = tempo medio richiesto per il collaudo pannello*

I tempi forniti dall’algoritmo sono stati poi confrontati con i tempi rilevati allo scopo di validarne i risultati. Nell’effettuare tale confronto i tempi rilevati sono al netto delle inefficienze legate a spostamenti dell’operatore e altre attività a non valore aggiunto che si è ritenuto di poter eliminare nella nuova area. Gli scostamenti percentuali tra tempo calcolato e rilevato sono riportati in figura 3.



**Figura 3**

L’obiettivo era avere un errore medio al massimo del 5%. Il risultato ottenuto è stato di un **errore medio del 3.4%**, ma è necessario tenere in considerazione che tale valore è dato da una serie di scostamenti positivi e negativi, che tendono a compensarsi. In generale è stato ritenuto accettabile avere uno scostamento del singolo rilievo dal tempo calcolato pari al 20%. Andando ad osservare quindi la serie di rilievi, si notano tre casi in cui questo vincolo non è stato rispettato. Ciò è dovuto al fatto che tali rilievi si riferiscono a casi di pannelli particolarmente semplici, il cui tempo necessario al montaggio risulta essere tra i più bassi



nella serie di rilievi. Questo significa che per questi pannelli, a parità di differenza in termini di minuti, l'errore sarà più elevato rispetto agli altri e pertanto la soglia di accettabilità viene estesa al 25%. Date queste considerazioni, il risultato fornito dall'algoritmo è risultato essere soddisfacente e in linea con le aspettative dell'azienda.

## **4. Progettazione dell'area**

### **4.1 Configurazione del layout**

Il processo di progettazione e realizzazione della disposizione fisica delle macchine, degli addetti e dei materiali nella nuova area è stato svolto considerando le necessità e vincoli del processo, puntando all'ottimizzazione degli spazi e all'ergonomia per l'operatore. La configurazione scelta è quella a isole di montaggio, nella quale si raggruppano materiali e attrezzature in postazioni che producono lo stesso tipo tecnologico di codici. Le postazioni di lavoro dell'isola devono garantire la disponibilità di attrezzi e materiali dove c'è bisogno, ridurre i movimenti inutili, migliorare la sicurezza, eliminare lo smarrimento degli attrezzi ed evitarne la ricerca (5S), predisporre i materiali a presentazione frontale ed essere ergonomiche.

### **4.2 Dimensionamento**

Analizzando il volume di pannelli realizzati nel 2017 e 2018 si è stimato il tasso di crescita e il volume previsto per il 2019. A partire da tale dato è stato calcolato il *Takt Time*, che consente di stimare il numero di operatori, e quindi di postazioni, necessari in media. Tuttavia, essendo il tempo di consegna uno degli aspetti più importanti per l'azienda, l'area è stata dimensionata considerando i picchi di *Full Time Equivalent* settimanale. Si è stimato che con otto postazioni l'area fosse in grado di coprire l'80% del volume annuale previsto. In caso di picchi della domanda che superino la capacità produttiva si ipotizza di ricorrere a doppi turni.

### **4.3 Design postazione**

Durante i rilievi tempi è stata individuata l'attrezzatura necessaria con il consulto degli operatori, valutando il numero di cassette necessari e la loro disposizione (*mock up*). Per i materiali sono stati analizzati i dati forniti dal fornitore sul consumo, individuando tramite l'analisi ABC i codici più frequentemente prelevati. Quest'ultimi sono stati disposti in modo da essere facilmente raggiungibili dall'operatore direttamente nella postazione, garantendone l'ergonomicità. Per il reintegro dei materiali è stato predisposto un *Water*

*Spider* che si occupi della raccolta e riempimento dei vuoti. Sono stati inoltre progettati, insieme al fornitore, appositi banchi girevoli studiati per facilitare le operazioni di assemblaggio e collaudo (in fig.4 una delle postazioni).



Figura 4

#### 4.4 Scelta del layout

Utilizzando delle sagome a terra sono state testate le diverse alternative di layout proposte dal team, in modo tale da evidenziarne gli aspetti critici e le problematiche. Sulla base di queste considerazioni e dei criteri di scelta individuati è stata impostata una matrice multicriterio, definendo l'importanza di ciascun parametro ed assegnando un punteggio a ciascuna alternativa rispetto ad essi. In figura 5 è riportato il layout scelto.

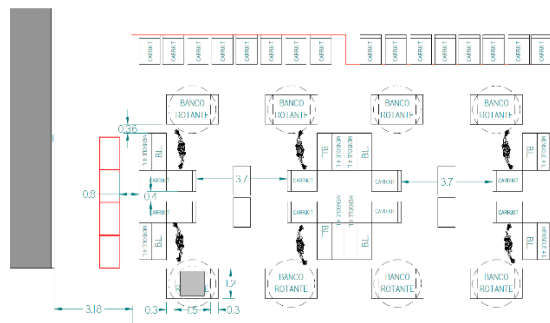


Figura 5

#### 4.5 Visual Management

Per stabilire una efficace comunicazione e gestione dell'area è stato implementato un tabellone di pianificazione appositamente per l'area pannelli. I criteri di pianificazione prevedono la schedulazione dell'assemblaggio pannelli per il giorno precedente alla data prevista per il montaggio a bordo macchina, utilizzando cartellini riportanti le informazioni principali, incluso il tempo standard di assemblaggio calcolato dall'algoritmo. Per la gestione dell'area sono state sfruttate tecniche di *Visual Management*, quali le 5S, utilizzate per garantire una corretta gestione dell'ordine, organizzazione e pulizia dei reparti coinvolgendo la manodopera. Il nome 5S deriva dalle iniziali delle attività alla base della metodologia: *Seiri*

(organizzare, razionalizzare); *Seiton* (ordinare); *Seiso* (pulire); *Seiketsu* (standardizzare); *Shitsuke* (mantenere la disciplina).

Istruzioni operative e One Point Lessons relative all'assemblaggio pannelli e alla gestione dell'area sono state esposte tramite appositi cartolari in ciascuna postazione, in modo da facilitarne la fruizione.

## **5. Monitoraggio**

### **5.1 Indicatori**

L'avvio dell'area ha previsto un periodo di formazione per gli addetti riguardo al processo e le relative procedure, svolto nel corso della prima settimana. Successivamente all'entrata a regime delle postazioni si è passati al monitoraggio delle prestazioni tramite appositi indicatori, quali la percentuale di Down Time sul Tempo disponibile e l'Efficienza Operativa, calcolata come rapporto tra Tempo standard e Tempo attivo. Quest'ultimo indicatore consente non solo di valutare il ritmo del singolo operatore, ma anche eventuali discrepanze tra il tempo calcolato dall'algoritmo e quello effettivamente necessario.

Sono stati svolti infine dei rilievi dei tempi per verificare l'adeguatezza dell'algoritmo sulle nuove postazioni. Il vincolo stabilito in fase di validazione, ovvero di uno scostamento al massimo del 20% tra tempo calcolato ed effettivo, è stato rispettato. Questa verifica si è resa necessaria dal momento che le analisi svolte prima dell'implementazione dell'area ne simulavano il recupero di efficienza sui tempi rilevati, che sono stati quindi confermati.

### **5.2 Gestione problematiche**

Le problematiche rilevate nell'area sono registrate con l'ausilio del sistema gestionale accessibile dai PC nelle postazioni e tramite una scheda di raccolta dati. Esse sono classificate in categorie e pesate a seconda del Down Time associato, permettendo di individuare le priorità di intervento. Le cause sono ricercate utilizzando lo strumento dei *5Whys*, che consiste nel porsi la stessa domanda ("perché?") iterativamente fino ad individuare la radice del problema, per il quale viene stabilita un'azione correttiva insieme ai responsabili coinvolti.

## **6. Analisi dei risultati**

A seguito della messa a punto dell'area e dei nuovi rilievi tempi eseguiti, i dati sono stati analizzati per valutare il recupero di efficienza ottenuto tramite la riduzione degli spostamenti dell'operatore e delle inefficienze dovute ad un layout non ottimale.

Rispetto alla situazione di partenza si è passati dal 43% di attività a non valore aggiunto sul tempo totale di assemblaggio, al **17,7%**. Le attività a non valore aggiunto necessarie sono scese dal 14% al **10,3%**. Il tempo perso per la movimentazione dei componenti è passato dal 19% al **9,9%**. Si è quindi svolta una nuova analisi del flusso del valore, rilevando i tempi di attesa e di lavoro per stilare la Value Stream Map aggiornata e verificare il raggiungimento degli obiettivi di riduzione del lead time.

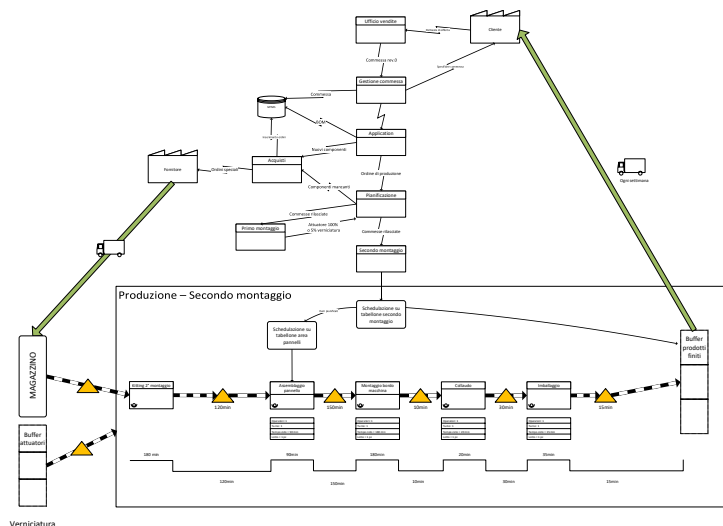


Figura 6

Il nuovo rapporto VA/NVA risulta pari al **61%**, rispetto al 37,5% di partenza.

## 7. Conclusioni

Il lead time del processo di secondo montaggio, grazie all'internalizzazione dell'assemblaggio pannelli, ha subito una notevole riduzione come indicato dal rapporto VA/NVA. Quest'ultimo infatti è passato da un 37,5% nella situazione di partenza al 61% attuale. Tale risultato è da ricondurre in larga parte all'eliminazione del processo in outsourcing, caratterizzato da un rapporto del valore del 20%, che influiva negativamente sul rapporto relativo al processo svolto internamente, pari al 55%. La percentuale rimanente è stata invece guadagnata dall'ottimizzazione del processo di assemblaggio, ottenuto grazie alla realizzazione di postazioni di lavoro organizzate, con un guadagno in efficienza del 29% sul tempo di assemblaggio pannello. Tramite lo studio dei tempi e metodi è stato possibile definire un algoritmo per il calcolo del tempo standard, con una precisione ritenuta accettabile considerando la variabilità di configurazioni del prodotto. Questo ha consentito di migliorare la programmazione della produzione, fino a quel momento critica a causa della difficoltà nell'identificare un tempo standard affidabile.