

# Una linea lean per l'assemblaggio di macchine per la lavorazione del legno

*La produzione di beni strumentali è normalmente caratterizzata da volumi bassi ed estremamente variabili sia in quantità, sia nella tipologia di prodotti richiesti dai clienti. Come si inserisce in questo contesto la lean production?*

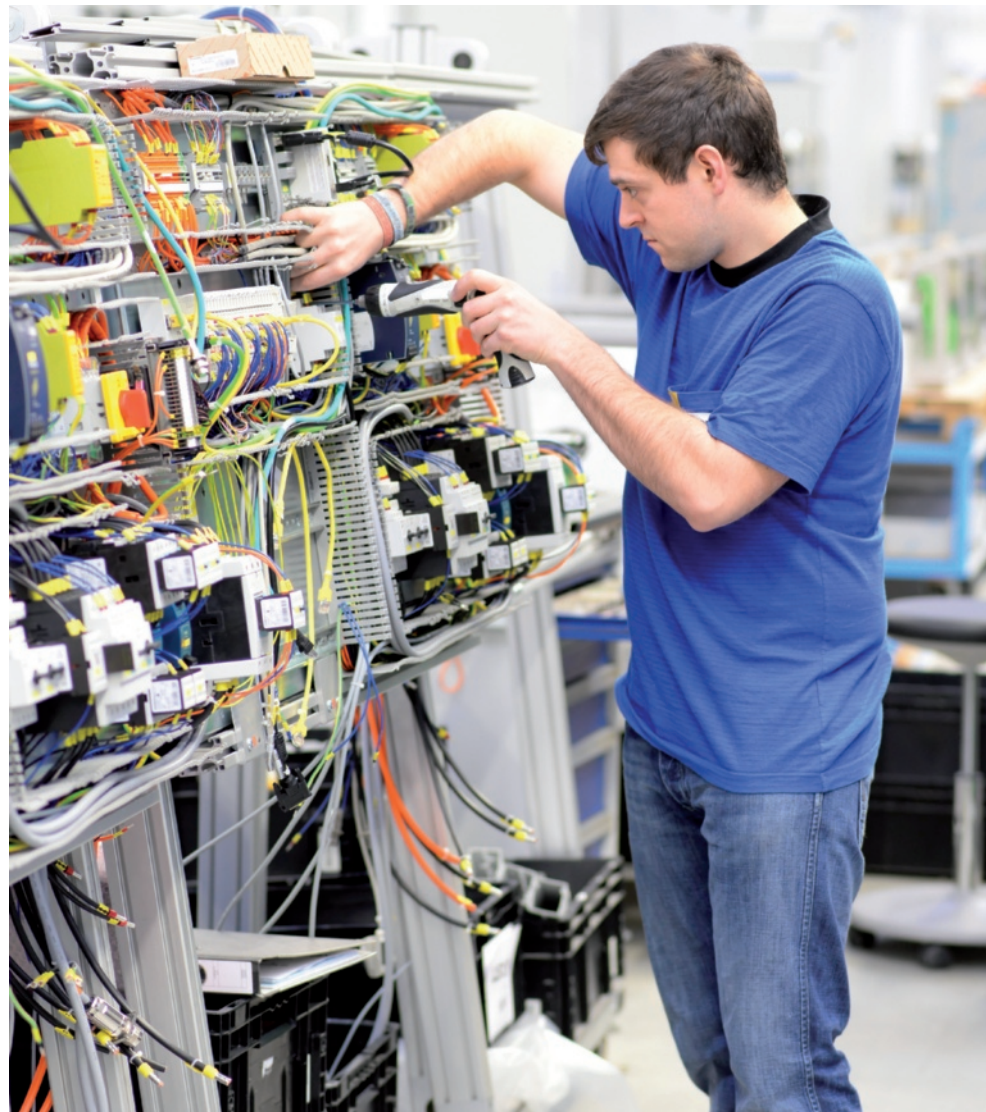
■ Ing. Mattia Buffoli – già tesista presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Industriale dell'Università degli Studi di Brescia  
■ Prof. Marco Perona - Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Industriale dell'Università degli Studi di Brescia

Queste caratteristiche suggeriscono di rispondere alla domanda secondo un modello MTO (Make-To-Order), quando non addirittura ETO (Engineer-To-Order), cioè producendo (MTO) ed eventualmente progettando (ETO) il prodotto solo a fronte dell'effettivo ordine di un cliente. Tuttavia, nel caso in cui i volumi produttivi raggiungano la piccola serie può risultare interessante valutare il passaggio dalla modalità di assemblaggio in posto fisso al montaggio in linea, con rilevanti vantaggi nell'efficienza del montaggio, nell'occupazione di spazio e nella capacità produttiva realizzabile, a pari numero di operatori. In questo contesto si possono applicare alcuni concetti tipici della *lean production* [Womack & Jones, 1996], quali il *takt time*, che è la cadenza di sincronizzazione della linea con il valore medio della domanda, come illustrato in [Bicheno & Holweg, 2008].

## Contesto

Il progetto ha avuto luogo presso il plant cinese di HOMAG A.G., gruppo tedesco leader globale nella progettazione e produzione di macchine per la lavorazione del legno. Nel 2014 HOMAG A.G. ha realizzato un fatturato pari a 914M€ con dieci

unità produttive dislocate in Germania, Spagna, Polonia, U.S.A., India, Brasile e Cina, per un totale di più di 5.800 addetti. Il gruppo offre una completa gamma di soluzioni stand alone o integrabili in sistemi automatizzati, per applicazioni in differenti ambiti della lavorazione del legno. Nello specifico, è stato ridisegnato il sistema di assemblaggio della famiglia di macchine operatrici a controllo numerico atte alla perforazione e lavorazione superficiale di pannelli in legno. Il sistema originario (Figura 1) prevedeva 5 piazzole di assemblaggio presso le quali le macchine stazionavano durante tutta la durata delle operazioni di assemblaggio, svolte da una squadra di 3 operatori meccanici e 3 elettricisti. Le efficaci politiche commerciali intraprese per il mercato asiatico, unitamente al sostenuto tasso di crescita di quelle economie, hanno determinato la necessità di un forte incremento dei volumi produttivi a partire dal secondo semestre 2015. Il management del plant Cinese ha quindi preso la decisione di implementare una linea di assemblaggio composta da 4 stazioni, con un *takt time* pari a 8 ore. L'obiettivo era di ottenere l'aumento di capacità richiesto (+25% su base annuale) ed al contempo migliorare la produttività ed efficienza del sistema



di assemblaggio (pari a 23 macchine prodotte/addetto nel 2014), garantendo così maggiori marginalità ed un miglior risultato operativo per la famiglia di prodotti interessata.

## Il progetto

La prima fase di progettazione della linea è stata l'analisi dettagliata del precedente sistema di assemblaggio a posto fisso, quale fonte primaria di informazioni e dati. Nello specifico, è stato effettuato:  
1) Lo studio del flusso delle attività e delle loro relazioni, in modo da costruire la struttura del grafo di montaggio;  
2) La misura dei tempi di assemblaggio, svolta tramite osservazione diretta degli operatori. Le misurazioni hanno analizzato differenti operatori durante lo svolgimento di ciascuna attività, in modo da prevenire eventuali comportamenti opportunistici;  
3) infine, la determinazione del valore generato da ciascuna attività secondo il consolidato metodo del Value

*Stream Mapping* [Rother & Shook, 1999], grazie al quale le attività di assemblaggio sono state classificate nei cluster *Waste*, attività che non generano alcun valore aggiunto per il cliente, *Parallel*, attività che possono essere svolte fuori linea e *with Help*, attività che avrebbero dovuto essere svolte da più di un operatore in quanto particolarmente critiche.

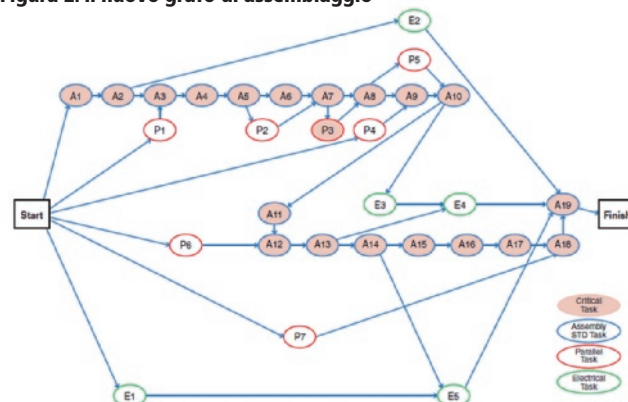
## La progettazione della linea

La modellizzazione ed il dimensionamento della linea di assemblaggio sono stati svolti sulla base dei risultati dell'analisi del sistema pre-

sistente, ed hanno previsto le fasi di seguito descritte.

1) La determinazione del nuovo grafo di assemblaggio, ottenuto eliminando le attività *Waste* e sfruttando l'opportunità delle attività *Parallel* e *with Help*, consentendo di ridurre il Lead Time di assemblaggio. È stata inoltre applicata la tecnica CPM (Critical Path Method) [Fondahl, 1961] in modo da identificare le operazioni di assemblaggio *critiche*, cioè quelle il cui eventuale slittamento o ritardo genera necessariamente il dilatarsi del tempo di assemblaggio complessivo, come illustrato in Figura 2.

Figura 2: il nuovo grafo di assemblaggio



2) La ridefinizione del sistema di gestione della forza lavoro diretta, il quale ha previsto la creazione di 6 ruoli standard suddivisi nelle categorie meccanici (3 ruoli) ed elettronici (3 ruoli).

È stato poi definito un sistema di *job rotation* secondo il quale ciascun operatore svolge un ruolo per un periodo di tempo prefissato (pari ad 1 mese), al termine del quale passa ad un altro ruolo e ad un altro ancora. Nell'arco di 3 mesi l'operatore avrà quindi coperto tutti e tre i ruoli della sua categoria, acquisendone esperienza e dimestichezza. Al termine del ciclo trimestrale il lavoratore ricomincia dal ruolo di partenza.

Tale sistema determina una maggiore flessibilità del sistema rispetto alla forza lavoro, in quanto l'assenza di un operatore può essere facilmente sopperita dai suoi colleghi che sono in grado di ricoprire tutte le mansioni imparate durante le precedenti rotazioni.

3) Il bilanciamento della linea, che alloca le singole attività sulle quattro stazioni di assemblaggio, tenendo conto dei vincoli fisici imposti dal nuovo grafo di assemblaggio, della durata delle operazioni e della loro variabilità.

Il bilanciamento della linea è stato ottenuto costruendo un diagramma di GANTT che rappresentasse il lavoro dei singoli operatori nell'arco dei diversi turni e sulle diverse stazioni.

4) La determinazione del layout di dettaglio della linea, definendo e delimitando la posizione delle stazioni della linea, delle postazioni di lavoro accessorie, delle piazzole di stazionamento dei subassemblati, ed infine dei supporti per lo stoccaggio di componenti, materiali ed attrezzature (Figura 3).

5) La determinazione della mappa del flusso dei materiali, in cui per ciascun componente movimentato (assieme principale, componenti, sottogruppi) è dettagliato il percorso logico e fisico di movimentazione in reparto ed il carrello o supporto che ne consente lo spostamento (figura 4).

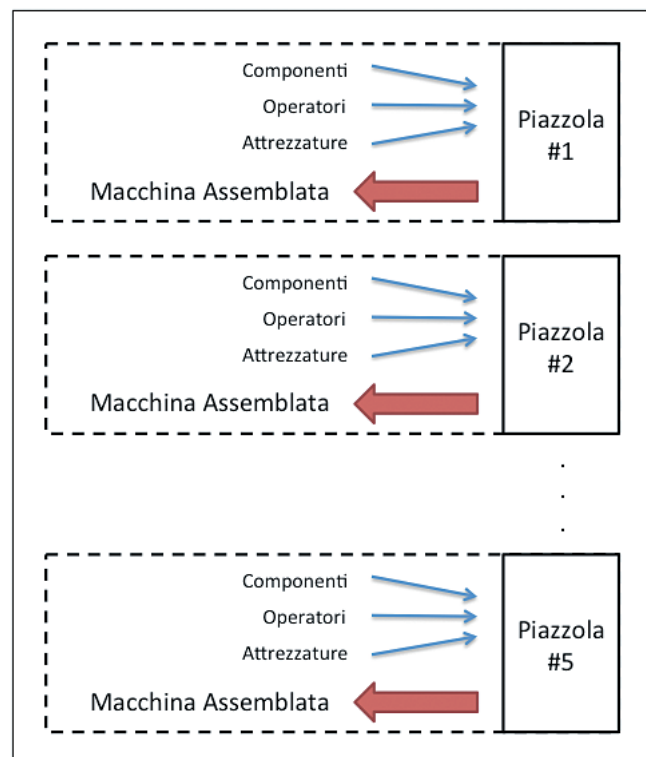


Figura 1: Il sistema di assemblaggio pre-esistente



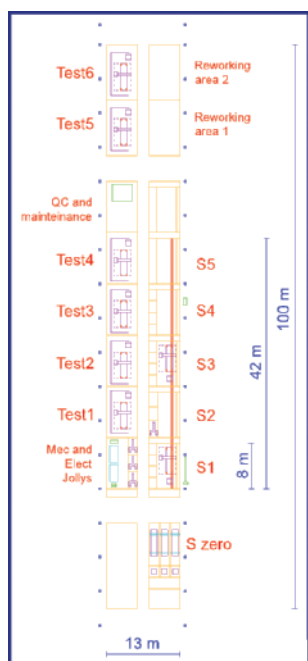


Figura 3: layout di dettaglio della nuova linea di montaggio

### La progettazione delle attrezzature

Ultimata la progettazione della linea si è resa necessaria la progettazione e realizzazione delle attrezzature industriali atte a renderne possibile il funzionamento. La fase di progettazione delle attrezzature è stata eseguita attraverso meeting multifunzionali ai quali hanno partecipato i capisquadra

degli operatori diretti, un ingegnere di processo, uno della funzione di qualità industriale, ed alcuni progettisti meccanici.

Durante tali riunioni si sono definite le necessità di processo e sono state generate diverse soluzioni con approccio sia *bottom-up* sia *top-down*. Dopo aver analizzato le diverse idee emerse, è stato scelto un singolo modello funzionale, ne sono state determinate le specifiche tecniche ed è stato realizzato un prototipo virtuale 3D. In ultima battuta i progetti approvati sono stati condivisi con i fornitori, i quali hanno provveduto alla realizzazione dei prototipi fisici.

Le attrezzature realizzate comprendono quelle di seguito descritte (cfr. Figura 5). a) Le guide per il pavimento, la cui funzione è di facilitare la movimentazione della macchina in fase di assemblaggio attraverso le stazioni della linea. La progettazione ha tenuto conto di diversi principi tra cui la minimizzazione dell'attrito generato con le ruote della macchina, la modularità e l'unificazio-

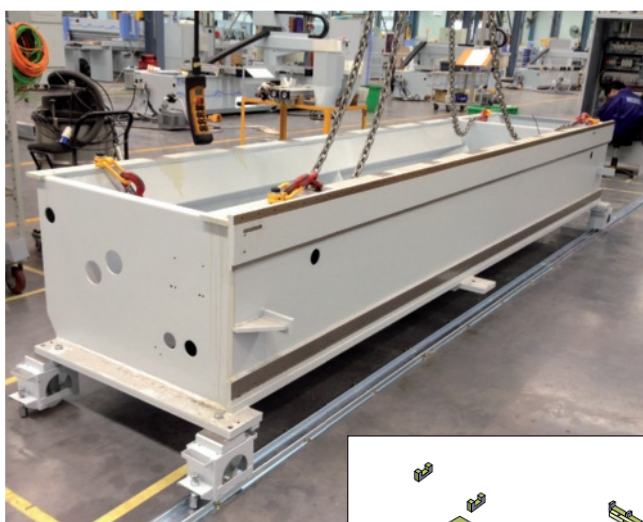


Figura 5: le guide ed i supporti per le ruote, con un basamento macchina montato

ne per consentire l'economicità dell'approvvigionamento, l'ergonomia e sicurezza degli operatori e la facilità di installazione.

b) I supporti per le ruote, attraverso i quali consentire l'ancoraggio delle ruote al basamento della macchina per costituire un'unità movimentabile tramite la spinta manuale da parte degli operatori diretti. I principi di modellizzazione sono stati gli stessi delle guide per il pavimento, con un focus particolare sulla sicurezza degli operatori.

c) I carrelli dei kit di montaggio, la cui funzione è trasportare i componenti ed i sottogruppi verso le relative stazioni di assemblaggio della linea. Questi sono stati progettati ad hoc per ciascuna specifica stazione, in modo da trasportare tutti e i soli i componenti alimentati

A. un modulo costituito da profili customizzati in legno, su cui poter appoggiare ed incastrare le componenti necessarie presso ciascuna stazione. Ogni stazione ha il proprio modulo in legno associato;

B. una struttura intermedia a parallelepipedo realizzata con profilati in alluminio, comune a tutti i carrelli ed

superficiale in legno;

- in caso di future modifiche al processo di assemblaggio, permettere di riutilizzare base e struttura (moduli C e B) semplicemente eliminando i profili in legno (modulo A).

### I risultati

Il progetto descritto in questo articolo è stato realizzato tra il mese di Settembre ed il mese di Dicembre 2014. Di seguito vengono sintetizzati i diversi risultati raggiunti attraverso il ridisegno del sistema di montaggio delle macchine.

#### Risultati tecnici

Il passaggio da configurazione di *assemblaggio a posto fisso* alla nuova *linea di assemblaggio takt* genera miglioramenti schematizzabili principalmente in quattro aree:

- aumento della flessibilità verso la forza lavoro diretta grazie al sistema di *Job rotation* sopra descritto;
- grazie alla riorganizzazione e ottimizzazione dei flussi, riduzione della distanza percorsa da materiali ed operatori, per circa 45,7 km/anno;
- incremento della capacità produttiva netta, stimato pari al 35,4%, corrispondente a 65 macchine/anno;
- come effetto dell'aumento della capacità produttiva, si è ottenuta l'eliminazione del lavoro straordinario, che in partenza rappresentava il 21,5% del totale delle ore lavorate, con conseguente risparmio di più di 3.200 ore uomo/anno.

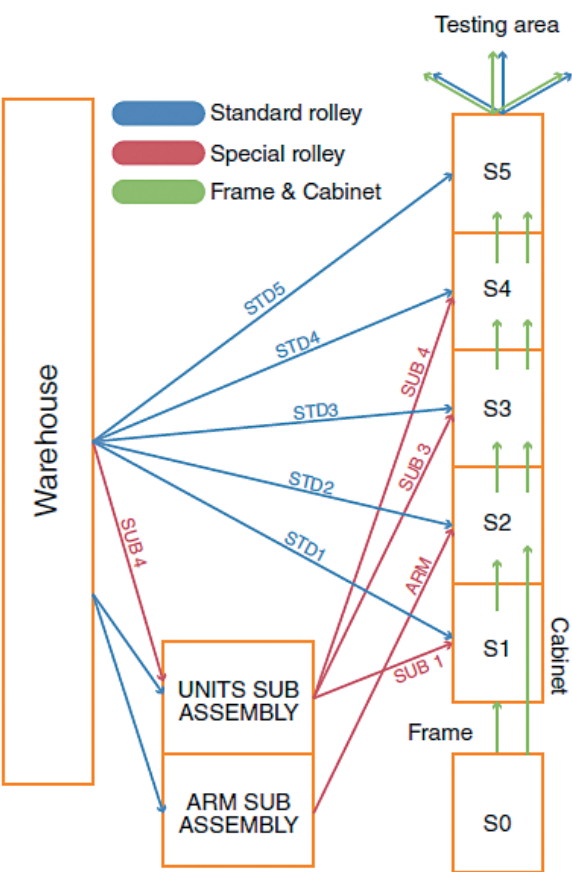


Figura 4: schema dei flussi di materiali

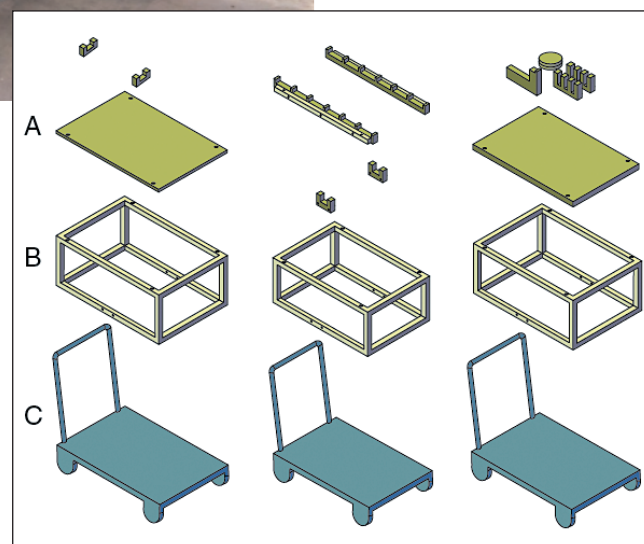


Figura 6: schema progettuale dei carrelli

a quella stazione, e consentirne il rapido posizionamento e prelievo sul e dal carrello, secondo il principio della *Golden zone* [Bicheno & Holweg, 2008], il quale definisce delle regole di base per progettare una postazione di lavoro in modo da ottimizzare l'ergonomia delle operazioni e garantire una maggiore produttività degli operatori. Ciascun carrello è composto da tre unità modulari (Figura 6):

asportabile in caso di necessità, il cui scopo è alzare la zona di lavoro del carrello all'interno della *Golden zone* ottimizzandone l'ergonomia;

C. la base, comune a tutti i carrelli e composta dalle ruote, dalla pedana, e da una barra per consentire la spinta.

Tale logica modulare ha il duplice scopo di:

- standardizzare i carrelli che circolano in reparto diversificando solo il modulo

## Risultati di business

Il progetto d'implementazione della linea di assemblaggio takt ha generato benefici su diversi fronti del business dell'azienda:

- ha consentito di far fronte all'opportunità derivata dall'incremento della domanda su base annua, aumentando la capacità produttiva del sistema del 35%;
- ha inoltre migliorato la produttività del sistema, eliminando le inefficienze e gli sprechi, ottimizzando i flussi e le modalità di assemblaggio, e garantendo così una maggiore redditività per la famiglia di prodotto pari al 32%.
- Supponendo un tasso annuo d'interesse attualizzante pari al WACC dell'azienda ed un orizzonte previsionale di 3 anni, risulta un Internal Rate of Return (IRR) pari a 30,85%, ed un Payback Time (PBT) attualizzato pari a 1 anno e 4 mesi.
- Inoltre, trattandosi del primo progetto in ottica lean presso lo stabilimento cinese, ha aperto la strada all'implementazione di altri tre piani di miglioramento per altre famiglie di prodotto, programmati per il biennio 2015/2016.

### Bibliografia

- Bicheno & Holweg. (2008). The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation. Picsie Books. 978-0954124458.
- Fondahl J.W. (1961). Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry. Stanford, Calif., Dept. of Civil Engineering, Stanford University. 39015000453970.
- Rother & Shook. (1999). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. Spi. 978-0966784305.
- Womack & Jones. (2003). Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Productivity Press. B003ZOSI4S.