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

Analisi di un processo di allestimento di veicoli commerciali e proposta di azioni atte a migliorare l'efficienza produttiva

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gino Dini

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Ing. Marco Del Sordo
F.lli Benaglio

IL CANDIDATO

Ivana Maria Linsalata

ivana.linsalata@yahoo.it

Sessione di Laurea Magistrale del 16/02/2022

Analisi di un processo di allestimento di veicoli commerciali e proposta di azioni atte a migliorare l'efficienza produttiva

Ivana Maria Linsalata

Sommario

Questo lavoro di tesi è il risultato di un tirocinio svolto presso la F.lli Benaglio con sede in Capezzano Pianore (LU), azienda che progetta e realizza allestimenti isotermici per veicoli industriali su commessa del cliente.

Lo scopo del lavoro è stato quello di individuare i rallentamenti che si manifestano in una parte del processo produttivo, in particolare le operazioni di finitura, analizzarli e cercare di risolverli con opportune azioni di miglioramento proposte.

Ad una prima analisi qualitativa del processo produttivo, segue un'analisi quantitativa delle lavorazioni di finitura, attraverso il calcolo del valore dell'indice di rendimento della parte di processo presa in considerazione.

Grazie alle azioni proposte ed implementate si è rilevato un incremento del valore dell'indice, segno di un miglioramento dell'efficienza del processo considerato.

Abstract

This thesis work is the result of an internship carried out at F.lli Benaglio based in Capezzano Pianore (LU), a small company that designs and manufactures isothermal fittings for industrial vehicles on customer orders.

The purpose of the work was to identify the slowdowns that occur in a part of the production process, in particular the finishing operations, analyze them and try to solve them with appropriate proposed improvement actions.

An initial qualitative analysis of the production process is followed by a quantitative analysis of the finishing processes by calculating the value of the efficiency index of the part of the process taken into consideration.

Thanks to the proposed and implemented actions, an increase in the value of the index was found, a symptom of an improvement in the efficiency of the process considered.

1. Introduzione

F.lli Benaglio è un'azienda che nasce nel 1967 con lo scopo di affiancarsi ad altre aziende che si occupavano del trasporto di prodotti deperibili e per offrire alla clientela prodotti personalizzati e vicini alle proprie aspettative.

Attualmente le tipologie di prodotto realizzate dall'azienda sono tre:

- Kit di pannelli isotermici, richiesti principalmente da allestitori di celle isotermiche non produttori delle stesse;
- Celle isotermiche consegnate al cliente come semilavorato poiché il cliente provvederà da sé al montaggio della stessa sul veicolo e all'assemblaggio degli accessori necessari;
- Allestimenti isotermici completi: il cliente richiede la cella montata sul veicolo e comprensiva di tutti gli accessori riportati nelle specifiche di progettazione.

La progettazione di ognuno di essi parte da dei modelli standardizzati, che vengono però ogni volta modificati e adattati alle specifiche richieste del cliente.

Il lavoro è stato svolto per la maggior parte del tempo tra il Reparto Produzione e l'Ufficio Tecnico interfacciandomi con le figure del Direttore Tecnico e Responsabile di Produzione per l'elaborazione dei dati e le decisioni da prendere.

2. Analisi della situazione 'as-is'

2.1 Il processo produttivo

L'azienda lavora secondo una logica ETO (Engineer to Order), quindi ogni singolo prodotto è progettato e realizzato su commessa.

Il processo produttivo viene avviato dal Responsabile di Produzione secondo delle stime del tempo di completamento della commessa, tenendo in considerazione come principale vincolo la data di consegna richiesta dal cliente.

Il ciclo produttivo consta di 4 macro-fasi principali:

- STAMPAGGIO
- MOLATURA
- MONTAGGIO
- FINITURA

che accomunano la maggior parte dei prodotti realizzati dall'azienda, ad esclusione dei kit di pannelli che vengono solo stampati e su cui vengono montate le porte laterali se previste.

Lo STAMPAGGIO consiste nella costruzione dei pannelli isotermici tramite incollaggio di due pelli in laminato di vetroresina con al centro un core di materiale isolante, e il sandwich così ottenuto viene messo sottovuoto per poter applicare la pressione necessaria ad ottenere l'incollaggio degli strati.
Con la MOLATURA si rifiniscono i pannelli prima con l'aiuto di un pantografo CNC, poi manualmente per le operazioni che non sono convenienti da effettuare alla macchina e si preparano per la successiva operazione.
Il MONTAGGIO consiste nell'assemblare la cella a partire dai pannelli secondo quanto definito dal disegno tecnico e nell'incollare il portale posteriore che può essere in alluminio o in acciaio.
La fase di FINITURA comprende a sua volta diverse lavorazioni (installazione di porte posteriori e laterali (se previste), sigillatura interna, applicazione dei profili angolari e sigillatura esterna) che permettono di completare la cella sia dal punto di vista estetico che funzionale.
A questo punto per le celle da consegnare come semilavorato il ciclo produttivo della Benaglio termina; per le celle richieste come allestimenti completi bisogna ancora montare la cella sul veicolo corrispondente, fornirla di accessori interni/esterni e di gruppo frigorifero se richiesti dal cliente.

2.2 Individuazione del problema

Per analizzare la situazione attuale si è effettuata dapprima un'analisi qualitativa dell'intero processo produttivo tramite osservazione diretta per identificare le problematiche principali. Si è focalizzata l'attenzione sulle operazioni di finitura, poiché sono quelle che più delle altre presentano delle criticità. In questo reparto il processo si rallenta perché il numero di celle da lavorare presenti nello spazio disponibile è maggiore rispetto al numero di celle effettivamente lavorate, ed è per questo che tutta l'analisi si è poi concentrata su queste lavorazioni.
Si è avuta un'interazione diretta con gli operatori, intervistandoli ed esaminando le loro mansioni.

Le criticità individuate da questa prima analisi riguardano:

- Scambio di informazioni poco formalizzato e per lo più verbale
- Formazione di 'colli di bottiglia' che riducono lo spazio a disposizione per lavorare.

Il lavoro di tesi quindi si propone di:

- misurare le inefficienze rilevate e confermate dal calcolo dell'indice OEE (*overall equipment effectiveness*) per il processo comprendente le lavorazioni di finitura
- implementare delle azioni volte al miglioramento delle criticità riscontrate.

2.3 Rilevazione dei dati e calcolo OEE

Per misurare l'efficienza della parte di processo produttivo preso in considerazione si è introdotto l'indice OEE, nella forma:

$$OEE = {}^{tempo\ Redditizio}/_{tempo\ Disponibile}$$

Considerando come:

- tempo Redditizio→ tempo necessario per l'esecuzione di una data operazione
- tempo Disponibile→disponibilità oraria delle risorse prese a riferimento.

L'indice, in questa forma, è applicabile a contesti produttivi che realizzano mix variabili di prodotti in termini di quantità e tipologia e ben adattabile al contesto della Benaglio.
Ai fini del calcolo, si è eseguito una raccolta dati riguardo la durata delle singole lavorazioni di finitura, in modo da poter ricavare il tempo redditizio e disponibile.

La rilevazione è stata effettuata a mezzo di un modulo cartaceo consegnato a tutti gli operatori interessati, in modo che annotassero il numero di commessa lavorata, le operazioni eseguite e il tempo impiegato.
I dati sono stati riordinati in un file Excel in cui sono stati inseriti oltre ai tempi rilevati anche le caratteristiche strutturali delle commesse, in modo da poter identificare possibili correlazioni tra le due variabili.
Si è calcolato:

- il **tempo redditizio** del processo di finitura come somma dei singoli tempi attivi di ogni lavorazione coinvolta
- il **tempo disponibile** come tempo trascorso dal momento in cui la cella riceve la prima lavorazione al momento in cui riceve l'ultima.

Di conseguenza si è calcolato l'indice OEE per dieci celle diverse tra loro per dimensioni e caratteristiche, ottenendo i valori rappresentati in figura 1:

NUMERO COMMESSA	LUNGHEZZA INTERNA [mm]	LARGHEZZA INTERNA [mm]	ALTEZZA INTERNA [mm]	NUM PORTE POSTERIORI	NUM PORTE LATERALI	PASSA RUOTE [SI/NO]	NICCHIA FRIGO [SI/NO]	PP [min]	PL [min]	PA [min]	SI [min]	SE [min]	tempo redditizio [min]	tempo disponibile [min]	OEE
E 6956	3300	1860	2050	2	1	NO	NO	180	190	175	120	270	**935**	**2880**	32,47%
E 6951	2600	1860	1400	2	2	NO	SI	100	300	220	270	300	**1190**	**2880**	41,32%
E 6970	2800	1860	2000	2	3	NO	NO	100	650	200	200	180	**1330**	**2880**	46,18%
E 6967	3450	1860	1950	2	1	SI	NO	140	300	245	230	285	**1200**	**3360**	35,71%
E 6952	2600	1860	1700	2	2	NO	NO	105	360	165	120	230	**980**	**3360**	29,17%
E 6954	4300	2200	2200	0	0	NO	NO	-	-	105	225	225	**555**	**2880**	19,27%
E 6933	3300	2050	2000	2	1	NO	NO	135	285	190	135	180	**925**	**2400**	38,54%
E 6959	3400	2100	2000	2	2	NO	NO	195	360	175	150	210	**1090**	**2880**	37,85%
E 6968	2800	1860	2000	2	3	NO	NO	135	510	225	210	150	**1230**	**2400**	51,25%
E 6955	2600	2050	1900	2	1	NO	NO	120	200	185	150	180	**835**	**1440**	57,99%

Figura 1 - Calcolo OEE

Quello che si può osservare è che l'OEE è al di sotto del 50% per la maggior parte delle celle, questo vuol dire che più della metà del tempo di stazionamento delle celle all'interno del capannone non è utilizzato efficientemente: la cella rimane in attesa di ricevere le lavorazioni molto più tempo rispetto a quanto si impieghi a lavorarle.

3. Azioni proposte

3.1 Programmazione della produzione in forma scritta

La prima azione proposta è stata quella di introdurre una modalità di programmazione scritta della produzione giornaliera.

La programmazione giornaliera viene quindi formalizzata attraverso un modulo precompilato, consegnato ad ogni operatore, in cui oltre alle commesse da lavorare viene inserita una colonna, lasciata in bianco, per permettere all'operatore di annotare qualsiasi problema rilevasse in corrispondenza delle lavorazioni da eseguire. Questo per fare in modo che le informazioni scambiate non vengano perse o dimenticate.

Si è potuto ricostruire, in questo modo, uno storico dei problemi rilevati, analizzando, per ogni lavorazione, quelli che si sono verificati più volte e riportandoli nell'istogramma di *figura 2*, dove in ascissa sono inseriti i diversi problemi rilevati e in ordinata il numero di rilevazioni eseguite.

In particolare, con una tonalità più scura si evidenzia il numero di volte in cui il problema è stato rilevato e con una più chiara quante volte non è stato rilevato:

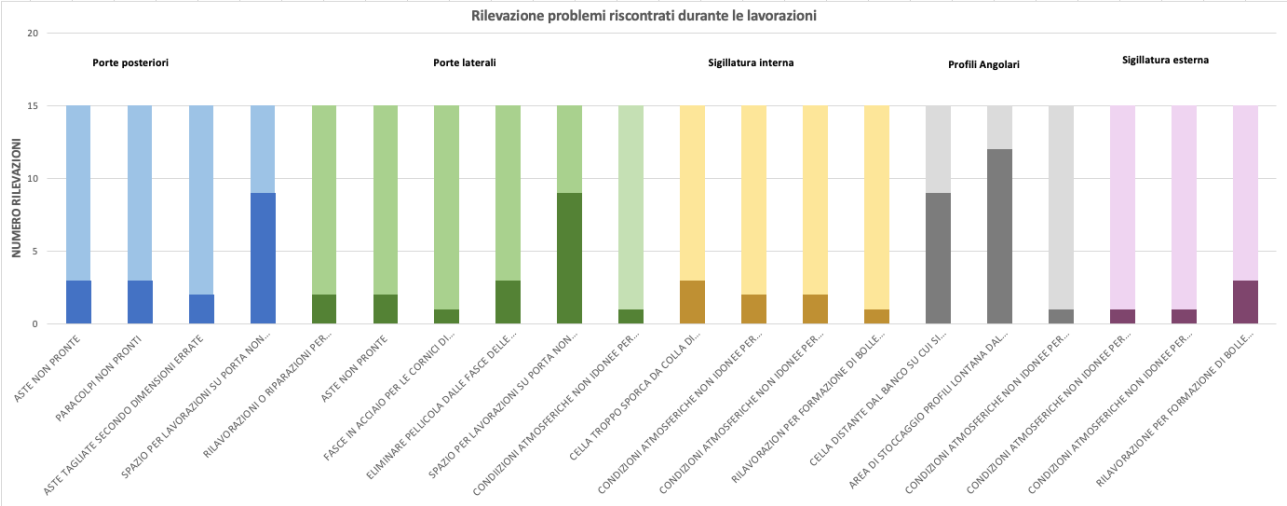

Figura 2 - Istogramma di rilevazione problemi

Come si può notare l'operazione che presenta problemi rilevati più di frequente è il 'montaggio dei profili angolari'; si può quindi dedurre che tali problemi non siano dovuti a manifestazioni occasionali, ma che siano inefficienze proprie del processo.

3.2 Nuova disposizione dello spazio

La seconda azione proposta riguarda una disposizione diversa dello spazio di lavoro.

3.2.1 Riorganizzazione dello spazio occupato

Si è partiti dalla disposizione attuale dello spazio di lavoro, cercando di identificare quali sono i possibili miglioramenti che si possono apportare per utilizzare in maniera più efficiente l'area a disposizione.

La maggior parte dello spazio è occupato dalle celle da lavorare, che hanno un ingombro importante e per tale motivo gli operatori, nelle loro movimentazioni, devono prestare attenzione ed evitare di urtare e danneggiare le celle presenti con attrezzature o utensili da lavoro.

Inoltre, la disposizione di alcune scaffalature risulta poco funzionale, poiché diminuisce ancora di più lo spazio utile per poter eseguire delle lavorazioni (scaffali 'l' ed 'm' in *figura 3a*).

In seconda analisi, si è notato che la disposizione del banco di lavoro utilizzato dall'operatore incaricato del 'montaggio dei profili angolari' risulta molto distante dalla zona ('i') in cui vengono riposti subito dopo averli lavorati alla macchina CNC dedicata ('h'), costringendo l'operatore ad effettuare movimentazioni superflue.

Liberando la zona in rosso di *figura 3a*, attualmente occupata da scaffali, si è potuto predisporre una zona adibita alla preparazione dei profili angolari, avvicinando così il banco ('ae') alla macchina utilizzata precedentemente.

Si è pensato di predisporre delle nuove scaffalature in punti vuoti (evidenziati in blu in *figura 3b*), inutilizzati dagli operatori, e dove non è possibile installare delle macchine perché lo spazio per il loro utilizzo sarebbe troppo esiguo.

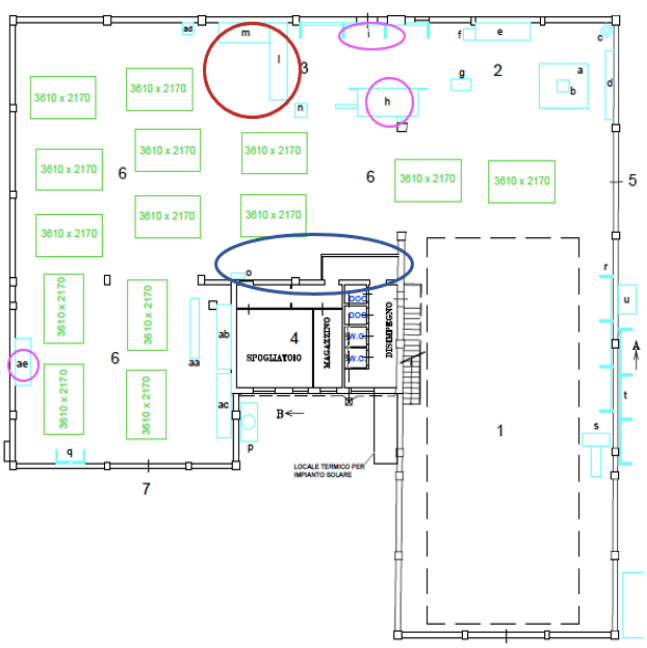

Figura 3a- Disposizione dello spazio pre-intervento

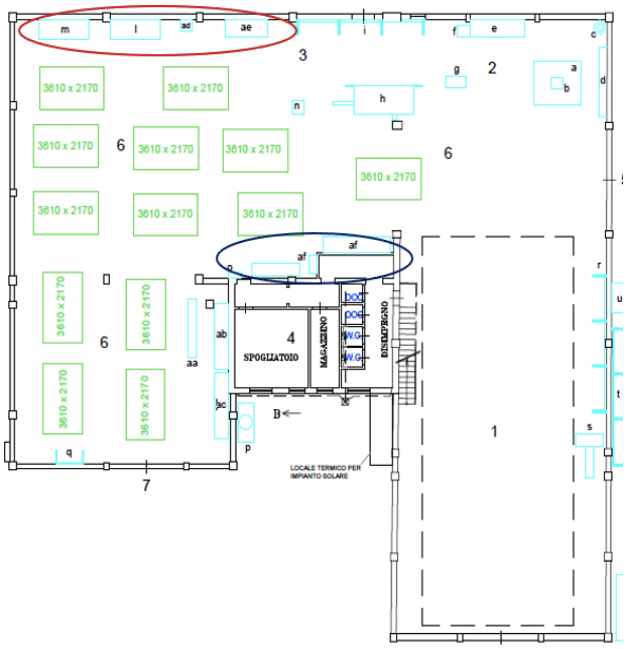

Figura 3b- Disposizione dello spazio post intervento

3.2.3 Parallelizzazione della lavorazione delle porte

L'osservazione iniziale prima, e i moduli di programmazione poi, hanno confermato la difficoltà che spesso l'operatore incaricato del montaggio delle porte, laterali o posteriori, riscontra nel dover trovare uno spazio, adeguatamente ampio e libero da ostacoli, per poter effettuare le lavorazioni necessarie a preparare l'anta prima di collegarla alla cella.

L'installazione delle porte, infatti consiste in due blocchi di operazioni: uno da eseguire sull'anta e l'altro per preparare la cornice su cui poi installare la porta.

Eseguire questi due blocchi in parallelo, fa sì che vi sia un risparmio di tempo e alleggerisce il carico lavorativo dell'operatore.

Si è proposto di adibire un'area ben definita del capannone alla lavorazione delle porte, siano esse posteriori o laterali in modo da:

- Poter risolvere il problema dello spazio

- Poter parallelizzare le operazioni da eseguire sull'anta a quelle da eseguire sulla cella, prima dell'installazione.

In *figura 4*, vi è una rappresentazione di come è stata organizzata l'area, evidenziata in rosso:
Sono stati disposti dei banchi per poggiarvi le attrezzature utilizzate e sono stati spostati gli scaffali contenenti i codici che l'operatore utilizza in questa lavorazione per poter avere tutto a disposizione.

Figura 4 - Area lavorazione porte

4. Risultati ottenuti

4.1 Rilevazione dati e calcolo OEE (2)

Per poter misurare l'efficacia delle azioni introdotte è necessario calcolare nuovamente l'OEE del processo. Si sono rilevate nuovamente le durate delle singole lavorazioni, utilizzando un modulo simile a quello utilizzato per la precedente rilevazione.
Prima di calcolare l'indice, si è effettuato un confronto tra le rilevazioni effettuate, costruendo dei grafici di dispersione per le singole lavorazioni prima e dopo gli interventi.
Dal confronto dei grafici di dispersione si può notare che per le lavorazioni direttamente interessate dagli interventi si è avuta una diminuzione del tempo netto e un'attenuazione importante della variabilità (*figura 5*):

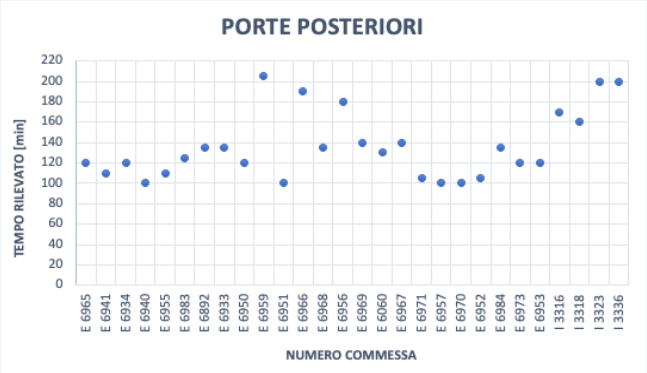

Figura 5 - Grafici di dispersione per 'porte posteriori' prima e dopo

Per le lavorazioni non direttamente interessate dagli interventi, si è riscontrato un calo della variabilità del processo (*figura 6*):

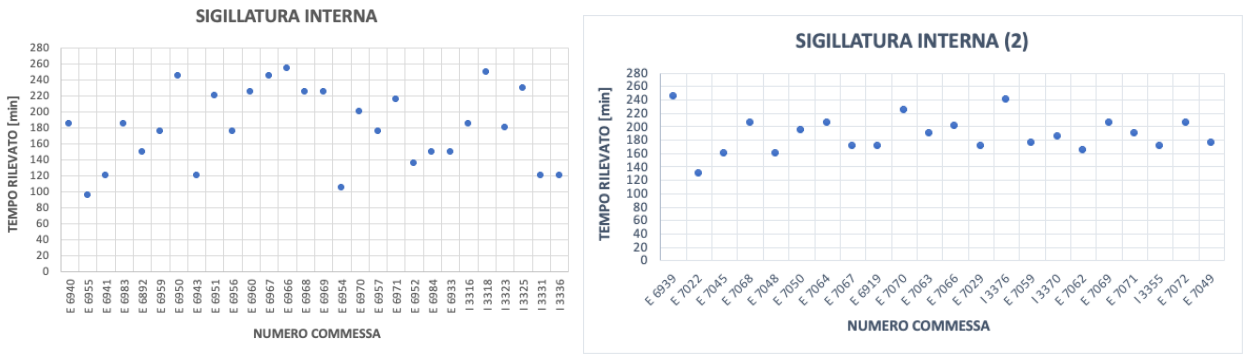

Figura 6 – Grafici di dispersione per 'sigillatura interna' prima e dopo

Una volta riordinati i dati, si è ricalcolato il nuovo indice OEE prendendo in considerazione 10 celle, diverse tra loro per dimensioni e caratteristiche strutturali, ottenendo i valori evidenziati in *figura 7*:

NUMERO COMMESSA	LUNGHEZZA INTERNA [mm]	LARGHEZZA INTERNA [mm]	ALTEZZA INTERNA [mm]	NUM PORTE POSTERIORI	NUM PORTE LATERALI	PASSARUOTE [SI/NO]	NICCHIA FRIGO [SI/NO]	PORTE POSTERIORI		PORTE LATERALI		PA [min]	SI [min]	SE [min]	tempo redditizio [min]	tempo disponibile [min]	OEE
								LAV SU CELLA [min]	LAV SU PORTA [min]	LAV SU CELLA [min]	LAV SU PORTA [min]						
E 6919	3300	1860	1900	2	2	NO	NO	75	55	330	60	135	265	170	**975**	**1800**	**54,17%**
E 6939	3400	2050	2000	2	1	NO	NO	70	80	150	30	130	130	210	**700**	**1320**	**53,03%**
E 7022	2600	1860	1400	2	2	NO	SI	70	70	270	60	180	160	240	**920**	**1680**	**54,76%**
E 7045	3300	1860	1700	2	4	NO	NO	75	60	525	120	150	205	225	**1180**	**2160**	**54,63%**
E 7048	2600	1860	1900	2	2	NO	NO	75	60	300	60	140	160	205	**880**	**1560**	**56,41%**
E 7050	2600	1860	1700	2	2	NO	NO	70	60	250	55	90	195	200	**805**	**1440**	**55,90%**
E 7064	2600	1860	1900	2	2	NO	NO	70	60	250	60	90	205	255	**870**	**1620**	**53,70%**
E 7067	3450	2230	2200	2	1	SI	NO	75	75	300	30	310	170	255	**1110**	**1920**	**57,81%**
E 7068	3450	2200	2200	2	1	SI	NO	75	55	290	45	180	170	250	**965**	**1740**	**55,46%**
E 7070	3400	2230	2200	2	1	SI	NO	70	60	310	35	180	225	210	**995**	**1800**	**55,28%**

Figura 7 - Calcolo del nuovo OEE

Si è utilizzata la stessa forma dell'OEE usata per il calcolo precedente, e per il calcolo del tempo redditizio si è considerato che, rendendo parallele le operazioni che riguardano l'installazione di porte, nel calcolo del tempo di esecuzione, non si considera più la somma dei singoli tempi, ma

$$t(lavorazione) = max\{t(lavorazione\ porta); t(lavorazione\ cella)\}$$

In giallo e verde sono evidenziati i tempi presi in considerazione per i rispettivi casi.

In generale si può notare un valore dell'OEE leggermente superiore al 50% per tutte le celle considerate.

Si può fare un confronto più dettagliato, considerando tra le commesse analizzate nella prima e nella seconda rilevazione la presenza di due celle identiche sia per dimensioni che per caratteristiche, come mostrato in *figura 8,* in cui nella prima riga sono riportati i dati di una commessa relativa alla prima rilevazione e nella seconda i dati di una commessa osservata successivamente:

NUMERO COMMESSA	LUNGHEZZA INTERNA [mm]	LARGHEZZA INTERNA [mm]	ALTEZZA INTERNA [mm]	NUM PORTE POSTERIORI	NUM PORTE LATERALI	PASSAROTE [SI/NO]	NICCHIA FRIGO [SI/NO]	PP [min]	PL [min]	PA [min]	SI [min]	SE [min]	tempo redditizio [min]	tempo disponibile [min]	OEE
E 6952	2600	1860	1700	2	2	NO	NO	105	360	165	120	230	**980**	**3360**	**29,17%**
E 7050	2600	1860	1700	2	2	NO	NO	70	250	90	195	200	**805**	**1440**	**55,90%**

Figura 8 - confronto tra prima e seconda rilevazione

I tempi di quasi tutte le lavorazioni sono migliorati, e di conseguenza anche il tempo redditizio.

5. Conclusioni

A conclusione delle analisi svolte, si può affermare che le azioni proposte per la risoluzione di alcune delle inefficienze riscontrate nel processo produttivo, abbiano avuto un riscontro positivo, evidenziato dall'aumento del valore dell'indice di efficienza calcolato.

Il valore dell'indice OEE appena al di sopra del 50% è direttamente correlato ai cambiamenti poco radicali introdotti.

La formalizzazione della programmazione giornaliera e la tempificazione delle lavorazioni prese in considerazione possono essere considerate come attività 'pilota' da poter estendere all'intero processo produttivo. Potrebbe essere una base per introdurre in futuro il sistema gestionale al reparto produttivo, e gestire in modo digitalizzato le informazioni riguardanti il processo produttivo.

La riorganizzazione dello spazio a disposizione e la creazione dell'area riservata alla lavorazione delle porte, d'altronde, hanno contribuito a rendere il processo produttivo più efficiente in termini di:

- Riduzione del tempo effettivo delle singole lavorazioni e conseguente riduzione del tempo redditizio
- riduzione del tempo di stazionamento delle celle all'interno del capannone senza ricevere lavorazioni
- utilizzo più efficiente dello spazio a disposizione.

5.1 Sviluppi futuri

Al fine di migliorare l'indice di efficienza OEE si può intervenire in due modi:

- sul tempo 'redditizio', cercando di ridurre la durata delle singole lavorazioni,
- sul tempo 'disponibile', andando ad ottimizzare l'intero processo di lavorazione.

Una possibile soluzione che verrebbe incontro alle due possibilità è la progettazione modulare del prodotto.

Uniformando le dimensioni delle celle, e dei componenti da assemblare, si andrebbe a:

- diminuire i tempi e i costi della progettazione, che non partirebbe da zero, ma sarebbe solo da perfezionare;
- apportare maggior controllo delle attività di produzione: l'operatore avrebbe la possibilità di velocizzare il processo di lavorazione e assemblaggio dei componenti, con la conseguente riduzione di possibilità di errore;
- considerare la possibilità, per alcuni componenti, di poter essere tenuti a magazzino, senza l'eventualità di non essere utilizzati perché di dimensioni o caratteristiche specifiche non più richieste dal cliente;

azioni che potrebbero migliorare le componenti dell'indice di efficienza.