

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in
Ingegneria della Produzione Industriale e dell'Innovazione Tecnologica**

Tesi di Laurea Magistrale

Rielaborazione dei metodi di montaggio di una linea produttiva



Relatori

Guido Perboli
Stefano Musso

firma dei relatori

.....
.....

Candidato

Domenico
Fabio Sgarlata

firma del candidato

.....

A.A.2018-2019

A Ilenia,
che ha sempre creduto in me
e mi ama infinitamente.

Ai miei genitori e a mio fratello,
che nonostante le difficoltà
mi hanno sostenuto in
questo percorso di studi.

Sommario

Abstract	8
Resumen	9
Ringraziamenti.....	10
1. Introduzione	11
1.1. Origine e motivazione.....	11
1.2. Finalità e scopo.....	11
1.3. Struttura del documento.....	11
2. Analisi.....	13
2.1. Analisi iniziale.....	13
2.2. Quadri di montaggio	15
2.3. Macro-ciclo	16
2.4. Area Logistica	63
2.4.1. Assegnazione degli elementi ai contenitori	63
2.4.2. Numero di contenitori necessari	64
2.4.3. Stima del numero di scaffali necessari	65
2.5. Simulazione ad eventi discreti.....	66
2.5.1. Basi per la creazione del modello	66
2.5.2. Metodi.....	68
3. Conclusioni	82
3.1. Considerazioni finali e implicazioni.....	82
3.2. Ricerca futura e limitazioni.....	86
4. Bibliografia	87

Elenco delle figure

- Figura 1. Pagina 13. Assieme completo del veicolo.
- Figura 2. Pagina 14. Struttura di un Cartellino Operazione.
- Figura 3. Pagina 14. Distinta base dei materiali.
- Figura 4. Pagina 14. Pesi dei componenti del gruppo resine.
- Figura 5. Pagina 15. Quadro di montaggio dell'elemento principale "pavimento".
- Figura 6. Pagina 16. Quadro di montaggio dell'elemento "rivestimento interno testata posteriore" (101013-A00).
- Figura 7. Pagina 17. Quota lunghezza veicolo (12000 mm).
- Figura 8. Pagina 17. Quota altezza veicolo (3230 mm).
- Figura 9. Pagina 17. Quota larghezza veicolo (2550 mm).
- Figura 10. Pagina 17. Comparazione tra altezza veicolo ed altezza operatore (stimata in 1800 mm).
- Figura 11. Pagina 19. Procedura di trasporto scocca dal reparto di verniciatura a quello di montaggio.
- Figura 12. Pagina 19. Illustrazione della procedura di trasporto scocca.
- Figura 13. Pagina 20. Carrelli di linea e funi di movimentazione scocca.
- Figura 14. Pagina 20. Operazione 1 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 15. Pagina 21. Operazione 4 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 16. Pagina 22. Operazione 10 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 17. Pagina 22. Operazione 15 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 18. Pagina 23. Operazione 24 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 19. Pagina 24. Operazione 30 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.
- Figura 20. Pagina 24. Operazione 5 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.
- Figura 21. Pagina 25. Operazione 9 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.
- Figura 22. Pagina 26. Operazione 20 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.
- Figura 23. Pagina 27. Operazione 28 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.
- Figura 24. Pagina 27. Operazione 33 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.
- Figura 25. Pagina 28. Operazione 6 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.
- Figura 26. Pagina 29. Operazione 11 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.
- Figura 27. Pagina 30. Operazione 22 del lavoratore W3 (supportato da W2) assegnato alla stazione 1.

- Figura 28. Pagina 31. Operazione 26 del lavoratore W3 (supportato da W4) assegnato alla stazione 1.
- Figura 29. Pagina 32. Operazione 39 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.
- Figura 30. Pagina 33. Operazione 7 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.
- Figura 31. Pagina 34. Operazione 14 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.
- Figura 32. Pagina 34. Operazione 23 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.
- Figura 33. Pagina 35. Operazione 30 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.
- Figura 34. Pagina 36. Macro-attività svolte dagli operatori nella prima stazione.
- Figura 35. Pagina 36. Tempi totali delle attività svolte nella stazione 1.
- Figura 36. Pagina 37. Saturazione percentuale degli operatori nella stazione 1.
- Figura 37. Pagina 39. Operazione 7 del lavoratore W5 assegnato alla stazione 2.
- Figura 38. Pagina 39. Operazione 8 del lavoratore W6 assegnato alla stazione 2.
- Figura 39. Pagina 40. Operazione 9 del lavoratore W6 (supportato da W5) assegnato alla stazione 2.
- Figura 40. Pagina 41. Plancia superiore sinistra.
- Figura 41. Pagina 42. Pistola erogatrice per colla.
- Figura 42. Pagina 43. Veletta anteriore completa.
- Figura 43. Pagina 44. Rivestimenti esterni fianchi.
- Figura 44. Pagina 45. Macro-attività svolte dagli operatori nella seconda stazione (con tempo ciclo).
- Figura 45. Pagina 45. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 2.
- Figura 46. Pagina 46. Mensole e tamponi motore.
- Figura 47. Pagina 47. Sportelli fianchi esterni.
- Figura 48. Pagina 48. Copertura catalizzatore.
- Figura 49. Pagina 49. Predisposizioni per cartelli indicatori.
- Figura 50. Pagina 49. Macro-attività svolte dagli operatori nella terza stazione (con tempo ciclo).
- Figura 51. Pagina 50. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 3.
- Figura 52. Pagina 51. Macro-attività svolte dagli operatori nella quarta stazione (con tempo ciclo).
- Figura 53. Pagina 51. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 4.
- Figura 54. Pagina 52. Sedile passeggero.
- Figura 55. Pagina 53. Mancorrenti posteriori.
- Figura 56. Pagina 54. Rivestimento esterno testata posteriore "F242869_00.1".
- Figura 57. Pagina 55. Specchi retrovisori.
- Figura 58. Pagina 56. Sedile autista.
- Figura 59. Pagina 57. Impianto tergilavatergicristalli.

- Figura 60. Pagina 58. Mancorrenti anteriori.
- Figura 61. Pagina 59. Cristalli laterali.
- Figura 62. Pagina 59. Macro-attività svolte dagli operatori nella quinta stazione (con tempo ciclo).
- Figura 63. Pagina 60. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 5.
- Figura 64. Pagina 61. Micromovimento elementare prendere e piazzare, tratto da tabella MTM-UAS. Patacchia (2017).
- Figura 65. Pagina 62. Scheda EAWS. Patacchia (2017).
- Figura 66. Pagina 63. Dimensioni degli elementi, tratte da PFEP.
- Figura 67. Pagina 64. Dimensioni dei contenitori, tratte da PFEP.
- Figura 68. Pagina 64. Odette allocabili in ogni piano.
- Figura 69. Pagina 65. MDR necessari, tratto da PFEP.
- Figura 70. Pagina 65. Prelievo da contenitore.
- Figura 71. Pagina 65. Calcolo scaffali necessari, tratto da PFEP.
- Figura 72. Pagina 66. Simulazione ad eventi discreti. (Gattuso & Cassone, 2013).
- Figura 73. Pagina 68. Struttura di un'operazione con prelievo da cassone.
- Figura 74. Pagina 68. Struttura di un'operazione senza prelievo da cassone.
- Figura 75. Pagina 69. Oggetti necessari per la creazione della sequenza di operazioni dell'operatore 1 della stazione 1.
- Figura 76. Pagina 70. Metodo crea (1).
- Figura 77. Pagina 70. Metodo crea (2).
- Figura 78. Pagina 71. Metodo crea (3).
- Figura 79. Pagina 72. Metodo crea (4).
- Figura 80. Pagina 72. Metodo crea (5).
- Figura 81. Pagina 73. Metodo crea (6).
- Figura 82. Pagina 73. Metodo crea (7).
- Figura 83. Pagina 74. Operazioni del lavoratore W10 della stazione 3, create dal metodo.
- Figura 84. Pagina 74. Metodo compila (1).
- Figura 85. Pagina 75. Metodo compila (2).
- Figura 86. Pagina 76. Metodo compila (3).
- Figura 87. Pagina 76. Metodo fase_successiva (1).
- Figura 88. Pagina 77. Metodo fase_successiva (2).
- Figura 89. Pagina 77. Metodo fase_successiva (3).
- Figura 90. Pagina 78. Metodo Discr_fase (1).

Figura 91. Pagina 78. Metodo Discr_fase (2).

Figura 92. Pagina 79. Metodo Discr_fase (3).

Figura 93. Pagina 79. Metodo Discr_fase (4).

Figura 94. Pagina 80. Metodo Movimentazione.

Figura 95. Pagina 81. Stazione 1 vista dal programma di simulazione.

Figura 96. Pagina 81. Linea di montaggio vista dal programma di simulazione.

Figura 97. Pagina 84. Occupazione dei forni di verniciatura.

Figura 98. Pagina 85. Produzione oraria e giornaliera.

Figura 99. Pagina 86. Produzione suddivisa per numero di turni di lavoro.

Figura 100. Pagina 86. Produzione raggiunta, suddivisa per numero di turni di lavoro.

Abstract

The following thesis illustrates the project aimed to improve the hourly production of vehicles of an Italian company. The project begins with the analysis of the working methods, the assembly sequences and the management of the logistics area present in the current state with the aim of creating a new subdivision of the logistics areas and new assembly methods. Likewise, the present project includes a discrete event simulation program that shows the operation of the assembly line and the movement of operators within the stations to which they have been assigned. Thanks to simulation it is possible to verify the performance of the new assembly area. Use of simulation is essential since it allows observing the operation of the assembly line, thus finding possible bottlenecks and queues. The proposed changes in this project, once implemented, allow a radical optimization of production, reaching a daily production of 1.7 vehicles thanks to a precise work that begins with the study of the assembly boards.

Resumen

La siguiente tesis ilustra el proyecto para mejorar la producción horaria de vehículos de una empresa italiana. El proyecto comienza con el análisis de los métodos de trabajo, las secuencias de montaje y la gestión del área logística presente en el estado actual con el objetivo de crear una nueva subdivisión de las áreas logísticas y nuevos métodos de montaje. Asimismo, el presente proyecto incluye un programa de simulación de eventos discretos que muestra el funcionamiento de la línea de ensamblaje y el movimiento de los operadores dentro de las estaciones a las que han sido asignados. A partir de la simulación es posible verificar el rendimiento de la nueva área de montaje. La conclusión del estudio es que es esencial utilizar la simulación ya que permite observar el funcionamiento de la línea de ensamblaje encontrando así posibles cuellos de botella y colas. Los cambios propuestos en este proyecto, una vez implementados, permiten una optimización radical de la producción, alcanzando una producción diaria de 1.7 vehículos gracias a un trabajo preciso que comienza con el estudio de las hojas técnicas de ensamblaje.

Ringraziamenti

Desidero porgere i miei più sentiti ringraziamenti ad Alessio, Federico, Giulia, Luigi, Patrizia e all'intera impresa Sim.Tec s.r.l., poiché con la loro preziosa collaborazione e dedizione hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto. Ritengo il loro apporto fondamentale per la mia crescita didattica - professionale e proficuo per un futuro inserimento nel mondo lavorativo.

Vorrei ringraziare i professori Guido Perboli e Stefano Musso, relatori di questa tesi, per i consigli che mi hanno fornito nel corso della stesura di questo documento.

Ci tengo a ringraziare il Politecnico di Torino e l'Universitat Internacional de Catalunya per aver avuto l'opportunità di partecipare a questo percorso di studi che mi ha aiutato ad approfondire le mie conoscenze e crescere a livello personale.

1. Introduzione

1.1. Origine e motivazione

Il seguente progetto è stato commissionato all'impresa Sim.Tec s.r.l. durante il mio periodo di stage nella stessa. Ho collaborato ogni giorno a questo lavoro, volto al miglioramento delle prestazioni della linea di montaggio di un'impresa produttrice di veicoli adibiti al trasporto pubblico che, fino al momento, si è avvalsa di metodi di costruzione artigianali che non si adattano alle necessità produttive moderne. Per soddisfare i bisogni produttivi attuali, è necessario effettuare una revisione accurata dei metodi di montaggio.

1.2. Finalità e scopo

L'obiettivo della Tesi è quello di analizzare i metodi di lavoro, sequenze di montaggio e gestione dell'area logistica presenti allo stato attuale, con il fine di creare una nuova suddivisione delle aree logistiche e nuovi metodi di montaggio. In aggiunta, verrà implementato un programma di simulazione ad eventi discreti che mostra il funzionamento e la movimentazione degli operatori nelle stazioni dell'area di montaggio. Dalla simulazione è possibile verificare le performance della nuova area di assemblaggio. È fondamentale utilizzarla in quanto è possibile osservare il funzionamento della linea di montaggio trovando in questo modo eventuali colli di bottiglia e code. L'obiettivo è di ottimizzare la produzione incrementando radicalmente la produttività, raggiungendo un output giornaliero di 1.7 veicoli, grazie all'applicazione di metodologie standard ripetibili che tengono in considerazione l'ergonomia del posto di lavoro.

1.3. Struttura del documento

Il progetto svolto è suddiviso in differenti parti, che dipendono l'una dall'altra in ordine di elenco, ed inizia con l'analisi dei documenti forniti dal cliente. Successivamente sono stati realizzati i quadri di montaggio e, per la loro creazione, è stato necessario individuare ogni singolo codice appartenente ad un determinato componente di cui è composto il veicolo e raggrupparlo in base alla sua funzionalità. Gli elementi (ossia gruppi di prodotti), sono stati poi assegnati alle varie stazioni di montaggio disponibili e assemblati secondo una sequenza determinata dal macro-ciclo. Allo stesso tempo, l'area logistica ha subito delle modifiche al fine di adattarsi ai nuovi metodi di assemblaggio

ed è stata predisposta un'area di kitting; è stato svolto uno studio sui contenitori e gli scaffali necessari a magazzino. Infine, attraverso il programma di simulazione ad eventi discreti Tecnomatix[®] Plant Simulation (software appartenente all'impresa Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.), è stato possibile verificare la correttezza dei calcoli e delle stime proposte nel seguente lavoro, visualizzando i risultati di produzione.

2. Analisi

2.1. Analisi iniziale

Il progetto inizia con lo studio dei documenti forniti dal cliente che riguardano le condizioni attuali dello stabilimento di produzione e, nello specifico, della linea di montaggio. In questa fase sono state visionate le matematiche del veicolo, le sequenze attuali di montaggio, i cartellini operazione attuali ed infine i documenti in formato Excel contenenti i pesi dei componenti.

Le matematiche sono modelli tridimensionali creati con l'utilizzo di tecnologie CAD (Computer-Aided Design) al fine di rappresentare in ogni dettaglio oggetti con geometrie complesse. Da un modello è possibile ricavare le quote dei vari pezzi ed avere una visualizzazione precisa del prodotto completo.

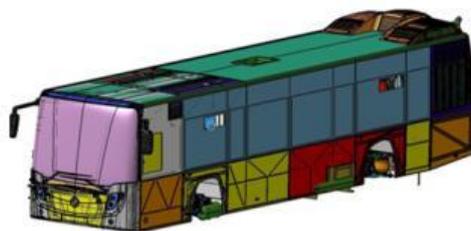


Figura 1. Assieme completo del veicolo.

Per quanto riguarda i cartellini operazione, i documenti forniti dal cliente contengono informazioni sul nome dell'operazione e spiegano se la lavorazione viene eseguita in linea, a fianco linea oppure a banco e se è necessario che il veicolo sia sollevato da terra. Successivamente è possibile notare su questo tipo di documenti l'elenco delle attività da eseguire nella determinata operazione, con foto esplicative dei vari passaggi. Sono presenti anche l'elenco delle attrezzature necessarie a svolgere l'operazione e la distinta base dei materiali.

CARTELLINO OPERAZIONE						
Cartellino n°	Sigla Rep.	Fase	Descrizione Reparto			
2	RMI		Reparto 7			
	Lavorazione	A BANCO		FIANCO LINEA	x	IN LINEA
Rev.	Foglio	Titolo Operazione				
0	01/01	Montaggio cavi di potenza (sottoscocca)				
Note		Risorse	TC	TE	Attrezzatura	
		1			-Serie di chiavi esagonali	
		Veicolo Alzato		Veicolo a Terra		
		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
		Autosnodati				
		CassaA	Cassa B	Cassa Unite		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Figura 2. Struttura di un Cartellino Operazione.

Distinta materiali		
Codice	Descrizione	Quantità
F242292	Cavo	1
F242291	Cavo	1
F242290	Cavo	1
F242289	Cavo	1
F242288	Cavo	1
F242287	Cavo	1
F242286	Cavo	1
F242285	Cavo	1
F242284	Cavo	1
F242283	Cavo	1
F244282	Cavo	1

Figura 3. Distinta base dei materiali.

L'ultimo documento fornito, ossia il file contenente i pesi dei componenti, suddivide i materiali in quattro gruppi: carpenteria, resine, impianti, cablaggi elettrici. Per ogni elemento vengono fornite informazioni relative al codice dell'elemento, alla descrizione dell'elemento, al peso espresso in diverse unità di misura (tonnellate, quintali e chilogrammi) ed alla data di verifica del peso.

Codice	Data	Descrizione	PESO		
			Tonnellate	Quintali	KG
F243140	07/06/2013	Resina sopra padiglione	0,10	0,99	99
F243542	20/06/2013	Kit isolamento padiglione	0,03	0,335	33,5
F243325	24/06/2013	Parabrezza	0,07	0,66	66
F243123	24/06/2013	Tegolini	0,03	0,315	31,5
F243228	24/06/2013	Tavolato	0,11	1,12	112
F244035	28/06/2013	Canali aria condizionata	0,04	0,42	42
F243264	28/06/2013	Imbuto posteriore	0,03	0,32	32
F243604	28/06/2013	Rivestimento posteriore inferiore interno	0,02	0,15	15
F243656	28/06/2013	Resina posteriore con botole	0,04	0,375	37,5
F243271	04/07/2013	Resina serbatoio combustibile	0,04	0,436	43,6
F243673	05/07/2013	Rivestimento interno	0,06	0,575	57,5

Figura 4. Pesi dei componenti del gruppo resine.

2.2. Quadri di montaggio

Successivamente, è stato necessario identificare ogni singolo codice prodotto del veicolo, verificandone la quantità e l'appartenenza ad un determinato gruppo, che formerà insieme ad altri gruppi un elemento. L'analisi in questione è stata effettuata attraverso i quadri di montaggio, che rappresentano una solida base per il progetto complesso da realizzare.

Questo tipo di documento annovera i seguenti dati:

- nome dell'elemento principale,
- codice del gruppo,
- codice del prodotto,
- nome dell'elemento,
- quantità, materiale, peso,
- make/buy (indica se è possibile realizzare il prodotto internamente oppure è necessario acquistarlo presso un fornitore esterno),
- kit/contenitore speciale (indica se l'insieme dei prodotti che costituiscono il gruppo necessita di un contenitore speciale),
- foto relative sia al singolo prodotto che all'elemento principale (mostrando graficamente quali elementi formano ogni singolo sottogruppo).

QUADRO DI MONTAGGIO							
Elemento: Pavimento (100113-A00)							
codice Gruppo	codice Prodotto	Nome elemento (disegno)	Qta.	Materiale	Peso (kg)	Make/Buy	KIT/CONTEN. SPECIALE
F243228	F243212_02_SOLIDO (1051)	Pavimentazione	1	Legno	6	M	Cont. Sequenziale
	F243215_01_SOLIDO (1053)	Pavimentazione	1	Legno	7	M	Cont. Sequenziale
	F243216_01_SOLIDO (1057)	Pavimentazione	1	Legno	5	M	Cont. Sequenziale
	F243219_00_SOLIDO (1059)	Pavimentazione	1	Legno	6,5	M	Cont. Sequenziale
	F243218_01_SOLIDO (1061)	Pavimentazione	1	Legno	8	M	Cont. Sequenziale
	F243919_01_SOLIDO (1064)	Pavimentazione	1	Legno	9	M	Cont. Sequenziale
	F243921_00_SOLIDO (1066)	Pavimentazione	1	Legno	5,5	M	Cont. Sequenziale
	F243215_01_SOLIDO (1067)	Pavimentazione	1	Legno	2,5	M	Cont. Sequenziale
	F252089_00_MODEL (1071)	Pavimentazione	1	Legno	7	M	Cont. Sequenziale
	F243214_01_MODEL (1072)	Pavimentazione	1	Legno	4,5	M	Cont. Sequenziale
	F243226_01_SOLIDO (1055)	Pavimentazione	1	Legno	4,5	M	Cont. Sequenziale
	F243227_01_SOLIDO (1065)	Pavimentazione	1	Legno	6,5	M	Cont. Sequenziale
	F243222_01_SOLIDO (1054)	Pavimentazione	1	Legno	8	M	Cont. Sequenziale
	F243224_01_SOLIDO (1056)	Pavimentazione	1	Legno	6	M	Cont. Sequenziale
	F243220_01_SOLIDO (1060)	Pavimentazione	1	Legno	7	M	Cont. Sequenziale
	F243225_01_SOLIDO (1062)	Pavimentazione	1	Legno	4,5	M	Cont. Sequenziale
	F243223_01_SOLIDO (1063)	Pavimentazione	1	Legno	5,5	M	Cont. Sequenziale
	F243328_02_SOLIDO (1069)	Pavimentazione	1	Legno	9	B	Cont. Sequenziale

Figura 5. Quadro di montaggio dell'elemento principale "pavimento".

Come si può notare osservando la figura 5, il macro-elemento pavimento è rappresentato dal codice 100113-A00.

Il codice F243228 si riferisce ad un gruppo che, unito ad altri gruppi specifici, forma l'elemento pavimento. Il gruppo contiene a sua volta una gran quantità di codici prodotto. Ad esempio, il codice F243216_01_SOLIDO (1057) si riferisce all'elemento pavimentazione (una singola parte del

pavimento), presente nel gruppo in quantità unitaria, costruito in legno, con un peso di 5 kg e prodotto in sede. Inoltre, si può notare che è riposto in un contenitore sequenziale.

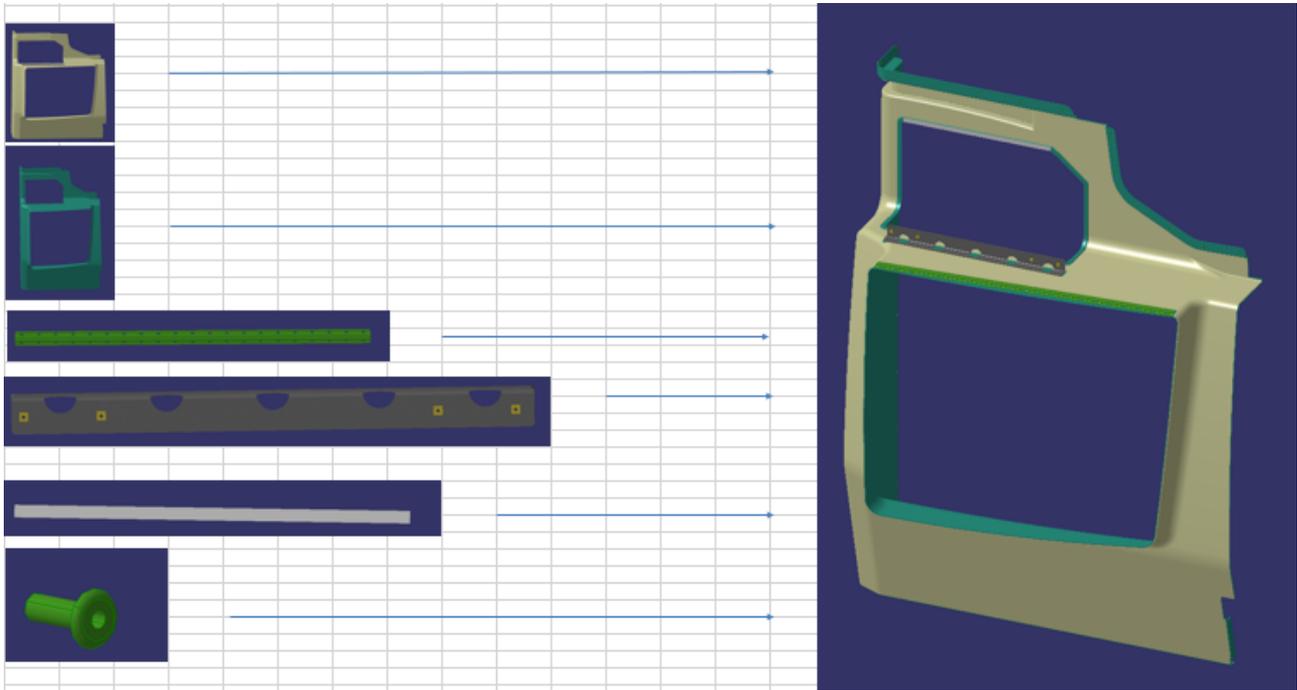


Figura 6. Quadro di montaggio dell'elemento "rivestimento interno testata posteriore" (101013-A00).

Come si può notare osservando la figura 6, i singoli componenti situati nella parte sinistra dell'immagine (F243264_02_SOLIDO_1, F243265_SD (1007), F248782_00 (1010), F243263_SD (1001), F248776_00 (1009), F068255_SD) formano il gruppo con codice F243334 (nella parte destra dell'immagine). Visualizzare graficamente componenti e gruppi può apparire come un'operazione che richiede molto tempo e di utilità dubbia. In realtà, dà un'idea chiara a chi consulta il quadro di montaggio su come i differenti componenti formano un gruppo e fornisce una prima idea su come essi vadano assemblati.

2.3. Macro-ciclo

Dopo aver completato il lavoro relativo ai quadri di montaggio, il focus del progetto si è spostato sulle quote del veicolo assemblato. Questo passaggio è necessario al fine di definire l'ingombro della struttura una volta assemblata e capire come debbano essere posizionati gli operatori nelle stazioni di lavoro.

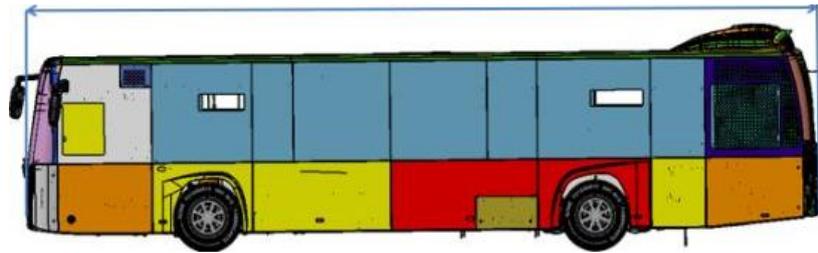


Figura 7. Quota lunghezza veicolo (12000 mm).

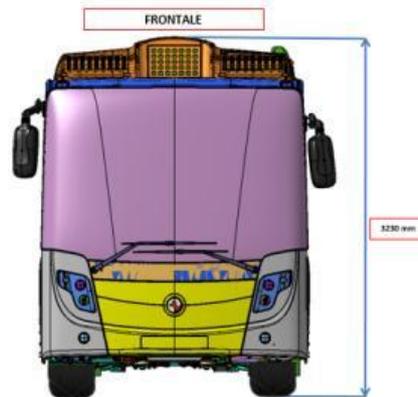


Figura 8. Quota altezza veicolo (3230 mm).



Figura 9. Quota larghezza veicolo (2550 mm).

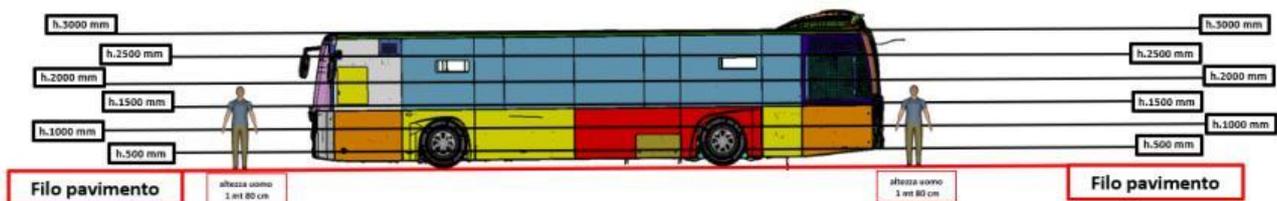


Figura 10. Comparazione tra altezza veicolo ed altezza operatore (stimata in 1800 mm).

Una volta completati i quadri di montaggio e le operazioni di quotatura, è stato possibile procedere alla creazione del macro-ciclo. Questa operazione rappresenta il cuore del progetto: qui verranno create le operazioni che concorrono al montaggio del veicolo e calcolati i relativi tempi, verranno definiti il numero di stazioni necessarie e gli operatori utili al corretto funzionamento di ogni singola stazione, nonché la strumentazione adatta per ogni operazione, tutto in funzione del tempo ciclo.

Il primo passo da compiere per poter ottimizzare le prestazioni della linea è quello di calcolare il tempo ciclo utile a produrre un singolo veicolo. Su richiesta del cliente, la produzione giornaliera deve essere di 1,7 veicoli con un'efficienza del novanta per cento ed un unico turno di lavoro. È necessario calcolare la durata del turno di lavoro, dato dalla differenza tra i minuti a disposizione in una giornata lavorativa di otto ore e la somma di due pause da trenta minuti.

Dai dati precedentemente elencati è stato possibile ricavare il tempo ciclo:

$$CT = \frac{\text{Durata turno}}{\text{Produzione giornaliera}} * \text{efficienza} = \frac{420}{1,7} * 0,9 = 222 \text{ minuti.}$$

È a questo punto necessario stimare il numero di stazioni utili alla produzione dei veicoli con il tempo ciclo stabilito precedentemente, ovvero 222 minuti. Analizzando le operazioni e stimando i loro relativi tempi, è stato possibile ricavare il totale dei tempi di operazione (4433 minuti). Successivamente verranno elencate le operazioni presenti in ogni stazione ed i tempi ad esse collegati.

$$N^{\circ} \text{ stazioni} = \frac{\sum \text{tempi operazione}}{CT} = \frac{4433 \text{ minuti}}{222 \text{ minuti}} = 19,97 \cong 20 \text{ stazioni.}$$

Utilizzando un solo operatore per stazione, sarebbero necessarie 20 stazioni. Ovviamente questa soluzione non è ottimale sia a livello finanziario che di saturazione dell'operatore. Pertanto, verranno utilizzati 4 operatori per ogni stazione (che lavoreranno in parallelo), riducendo così il numero di stazioni a 5.

Si procede quindi a verificare quali delle operazioni eseguite allo stato attuale siano corrette e possano essere mantenute nel nuovo macro-ciclo. Una delle sequenze di operazioni mantenute è stata quella in cui viene trasportata la scocca nella prima stazione di montaggio dopo la fase di verniciatura. L'operazione richiede il contributo di due operatori, 4 carrelli (2 di linea, 2 appartenenti all'area di prelievo) e di un carro ponte. La scocca viene posizionata in area di prelievo, dove viene agganciata alle funi del carro ponte. Lo strumento viene azionato per poter spostare la

scocca su un nuovo carrello presente nella stazione 1. Infine, viene rimosso il carrello dall'area di prelievo.

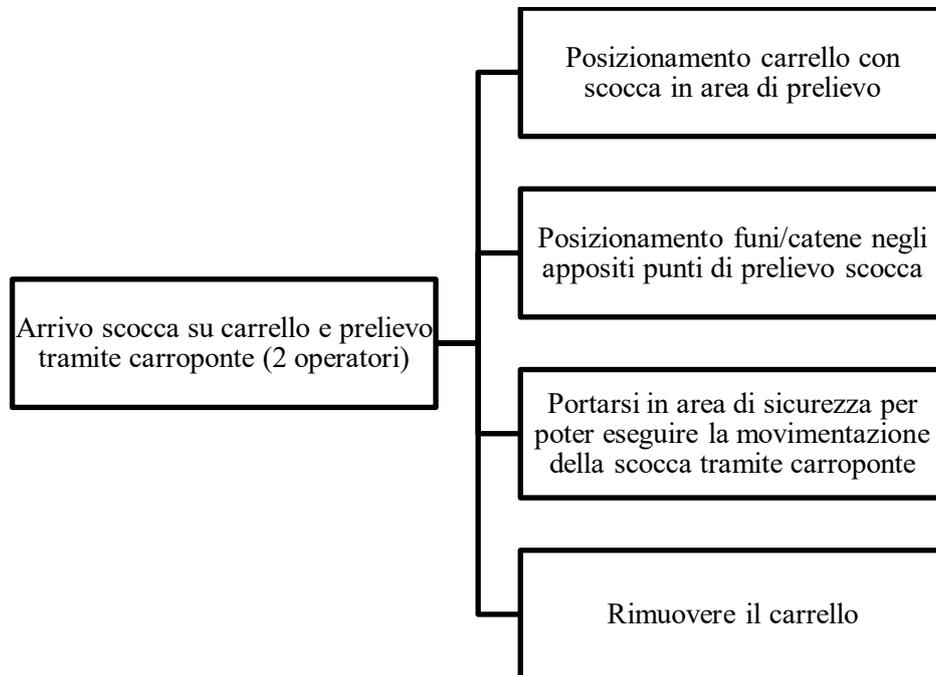


Figura 11. Procedura di trasporto scocca dal reparto di verniciatura a quello di montaggio.

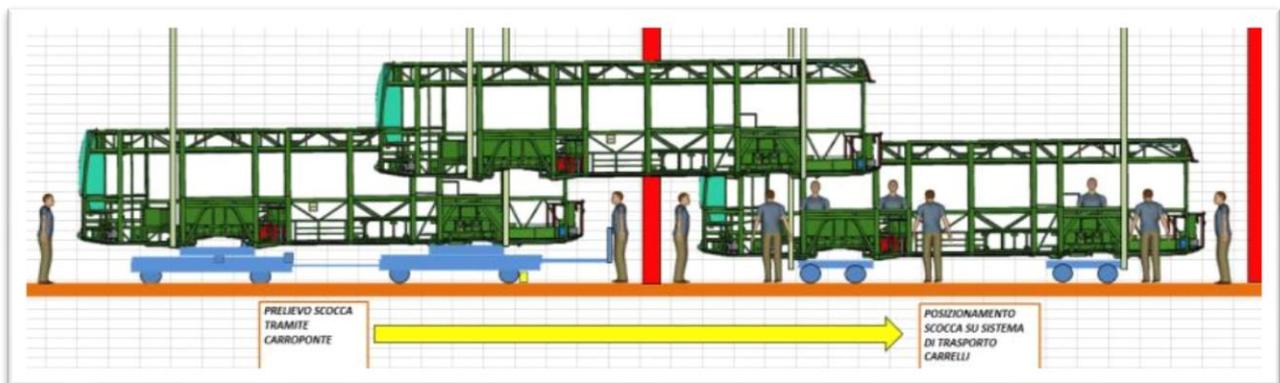


Figura 12. Illustrazione della procedura di trasporto scocca.

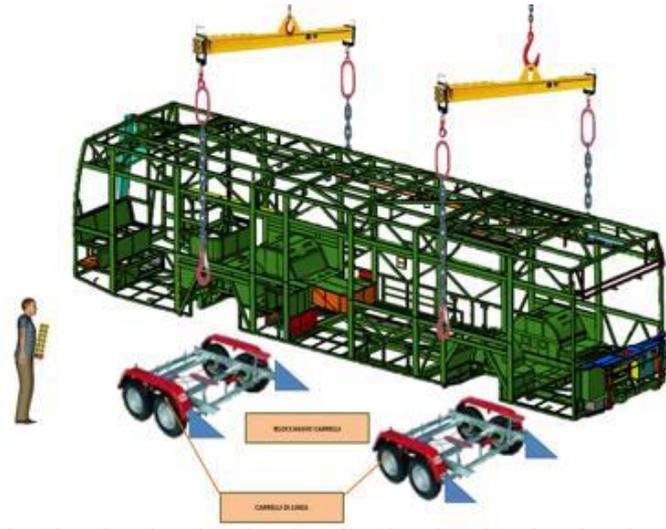


Figura 13. Carrelli di linea e funi di movimentazione scocca.

È ora possibile suddividere le operazioni tra le 5 stazioni ed assegnare ogni operazione ad un operatore. Per ogni operazione si avrà quindi, oltre al dettaglio del procedimento, il tempo necessario ad eseguirla, la stazione a cui appartiene, l'operatore a cui è stata assegnata e la strumentazione necessaria allo svolgimento della stessa.

STAZIONE 1

Nella parte seguente verranno analizzate le operazioni della prima stazione di montaggio, evidenziando per ognuno dei 4 operatori, quali attività vengono svolte singolarmente e quali in collaborazione con altri operai.

Dettaglio operazioni W1 (worker 1)

Operatore assegnato	N° Operazione	Descrizione Operazione	Tempo di esecuzione (minuti)
W1	1	Posizionare tramite carroponte la scocca su carrelli di linea.	3



Figura 14. Operazione 1 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W1	2	Rimozione funi/catene e fuori ingombro carro ponte.	4
W1	3	Prelevare n.1 pistola ad aria e soffiare sulle superfici indicate con il pennarello rosso.	2
W1	4	Prelevare n.1 erogatore colla e stendere l'adesivo sigillante nella zona posteriore dove verranno applicate successivamente le tavole. Altezza operazione: 500 mm.	15

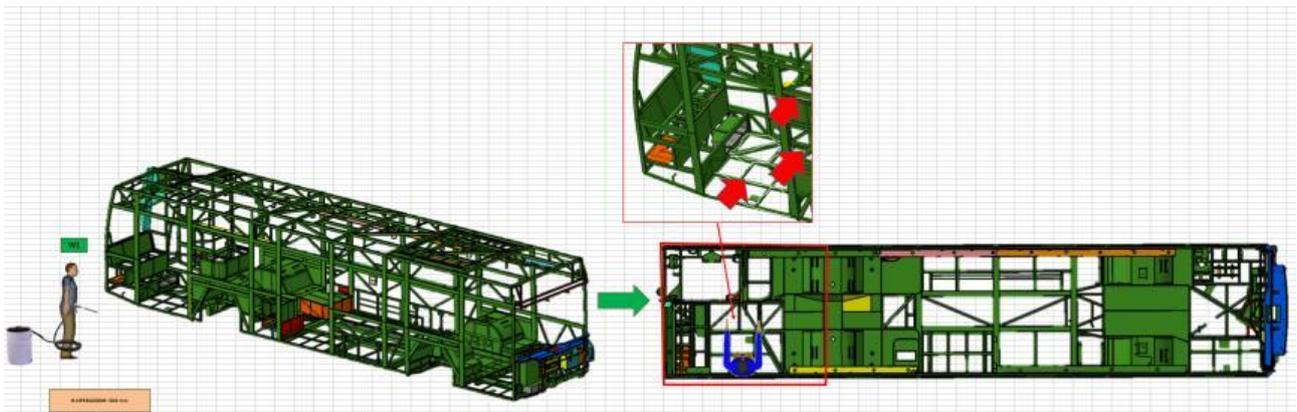


Figura 15. Operazione 4 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

Alcune delle operazioni successive richiedono l'uso di due operatori a causa del peso delle tavole di legno da posizionare all'interno della scocca. Le operazioni saranno eseguite ad un'altezza di 500 mm.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W1 + W2	5	Prelevare n.1 tavola "F243224_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1 + W2	6	Prelevare n.1 tavola "F243225_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1	7	Prelevare n.1 tavola "F243255_SD" dal contenitore e posizionare.	2
W1	8	Prelevare n.1 tavola "F243223_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1	9	Prelevare n.1 tavola "F243220_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1	10	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243224_01".	1



Figura 16. Operazione 10 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W1	11	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243225_01".	1
W1	12	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243255_SD".	1
W1	13	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola " F243223_01".	1
W1	14	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola " F243220_01".	1
W1	15	Prelevare dalla cassetta lo stucco e la spatola ed effettuare la stesura tra un pannello e l'altro.	5

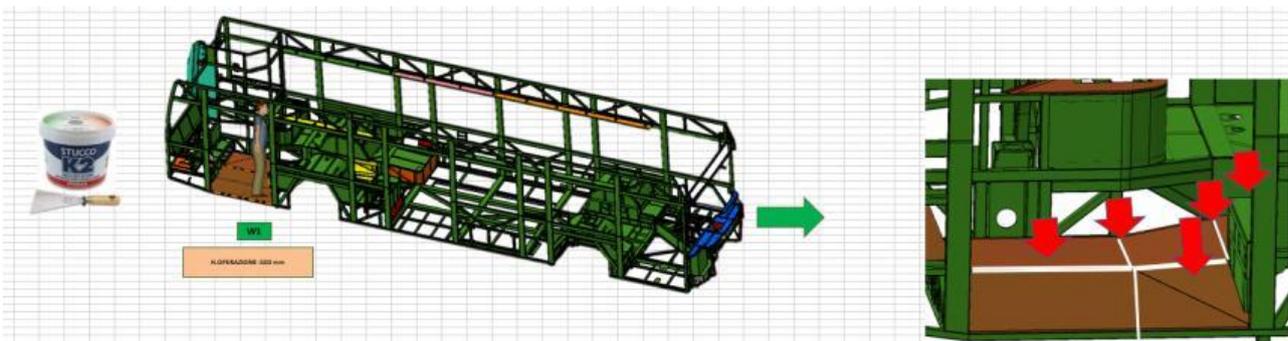


Figura 17. Operazione 15 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W1	16	Posizionare l'isolamento interno sul lato posteriore precedentemente incollato.	10
W1	17	Prelevare n.1 tavola "F243226_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1	18	Prelevare n.1 tavola "F243227_01" dal contenitore e posizionare.	2
W1	19	Prelevare n.1 tavola "F243228_02" dal contenitore e posizionare.	2
W1	20	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243227_01".	1
W1	21	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e	1

		avvitare le viti della tavola "F243226_01".	
W1	22	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243228_02".	1
W1	23	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante sull'isolamento interno prima di posizionarlo. Posizionare l'isolamento interno sul lato posteriore.	14
W1	24	Prelevare n.4 fasce metalliche dell'impianto sospensioni "D025097_01.1" e avvitare nella struttura interna per il successivo montaggio delle bombole.	3

L'operazione 24 viene eseguita ad un'altezza di 3 metri, utilizzando la scala idonea alle lavorazioni in altezza.

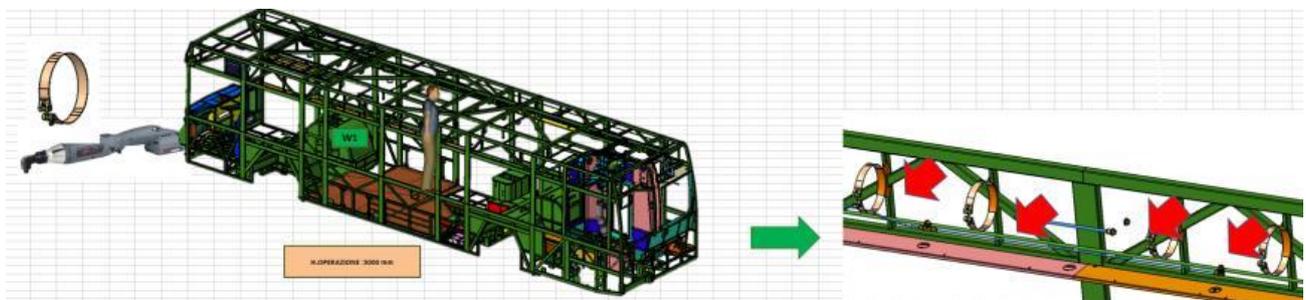


Figura 18. Operazione 24 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W1	25	Prelevare n.2 bombole dell'impianto sospensioni "F239784_00" ed inserire nelle fasce metalliche precedentemente montate.	3
W1	26	Prelevare e posizionare le tubazioni dell'impianto sospensioni.	10
W1 + W2	27	Prelevare la tubazione dell'alimentazione aria "F249720_SD" ed effettuare la stesura con l'operatore "W2".	20
W1	28	Prelevare la levigatrice ed effettuare la levigatura sulla pavimentazione in modo da poter rimuovere lo stucco eccessivo tra una tavola e l'altra.	15
W1	29	Prelevare n.4 fasce metalliche dell'impianto sospensioni "F025097_01.1" e avvitare nella struttura interna per il successivo montaggio delle bombole dell'impianto freni di servizio.	2
W1	30	Prelevare n.2 bombole dell'impianto freni di servizio "F239771_00" ed inserire nelle fasce metalliche precedentemente montate.	2
W1	31	Prelevare la tubazione dell'impianto freni di servizio "F245660_SD" ed utilizzare la chiave esagonale ed il teflon necessario per serrare i	15

		raccordi	
W1	32	Montaggio cablaggio interno.	35

Per quanto riguarda l'operazione 25, è importante non eseguire il serraggio delle fascette, perché le bombole devono poter muoversi per connettere correttamente la tubazione.

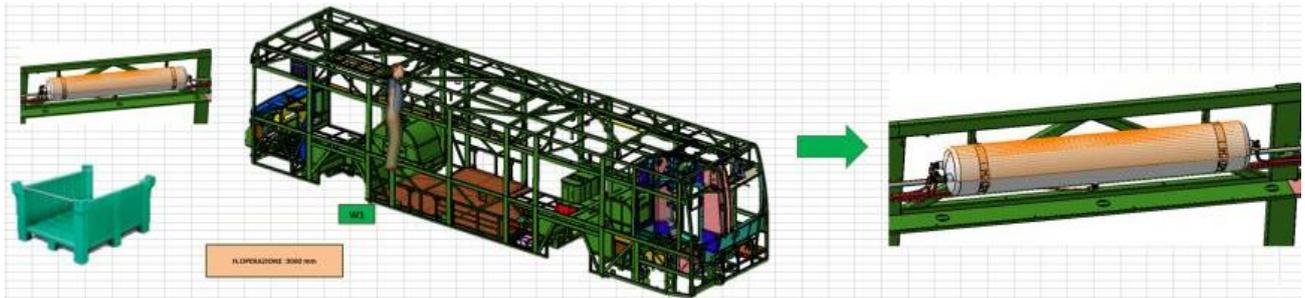


Figura 19. Operazione 30 del lavoratore W1 assegnato alla stazione 1.

Dettaglio operazioni W2 (worker 2)

Le operazioni, dalla numero 1 alla 25, vengono eseguite ad un'altezza compresa tra 0 e 500 mm.

Operatore assegnato	N° Operazione	Descrizione Operazione	Tempo di esecuzione (minuti)
W2	1	Attendere arrivo scocca (carroponte movimentato da "W1").	3
W2	2	Rimozione funi/catene e fuori ingombro carroponte.	4
W2	3	Prelevare n.1 pistola ad aria e soffiare sulle superfici indicate con il pennarello rosso.	3
W2	4	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante nella zona centrale ed anteriore.	19
W2	5	Prelevare n.1 tavola "F243215_01" dal contenitore e posizionare.	2
W2	6	Prelevare n.1 tavola "F243919_01" dal contenitore e posizionare.	2
W2	7	Prelevare n.1 tavola "F243218_01" dal contenitore e posizionare.	2

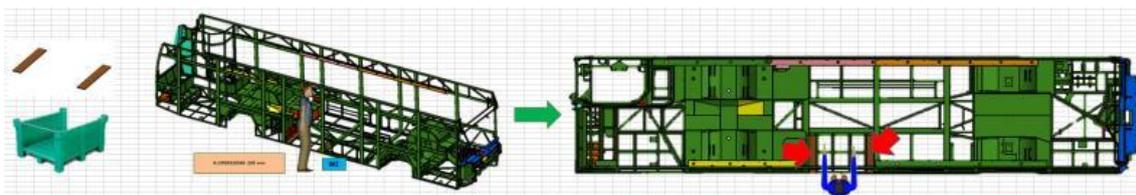


Figura 20. Operazione 5 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W2	8	Prelevare n.1 tavola "F243219_01" dal contenitore e posizionare.	2
W2	9	Prelevare n.1 tavola "F243214_01" dal contenitore e posizionare.	2
W2	10	Prelevare n.1 tavola "F252089_00" dal contenitore e posizionare.	2
W2	11	Prelevare n.1 tavola "F243921_01" dal contenitore e posizionare.	2
W2	12	Prelevare n.1 tavola "F243212_02 " dal contenitore e posizionare.	2
W2	13	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243215_01".	1
W2	14	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243919_01".	1
W2	15	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243218_01".	1
W2	16	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243219_01".	1

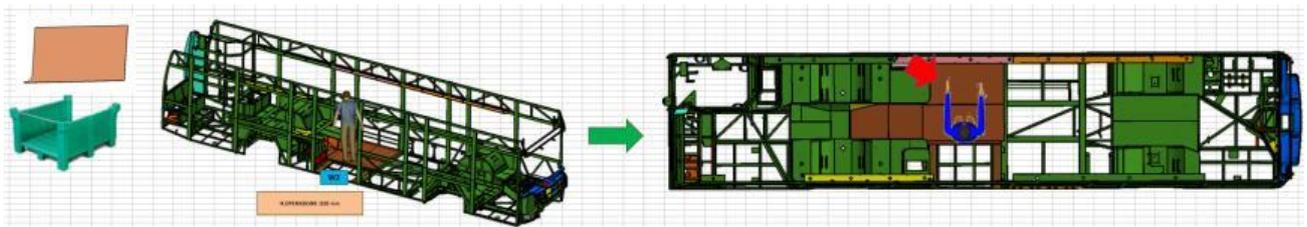


Figura 21. Operazione 9 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W2	17	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243214_01".	1
W2	18	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F252089_00".	1
W2	19	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "343921_01".	1
W2	20	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire e avvitare le viti della tavola "F243212_02".	1
W2	21	Prelevare dalla cassetta lo stucco e la spatola ed effettuare la stesura tra un pannello e l'altro.	10
W2 + W3	22	Prelevare il rivestimento interno testata posteriore completo "F243334_00.1" dal contenitore con l'operatore "W3" e posizionare.	5
W2	23	Utilizzando la rivettatrice, rivettare il rivestimento interno testata posteriore completo "F243334_00.1" (22 rivetti).	5
W2 + W3	24	Prelevare il rivestimento interno vano motore completo "F248795_00.1" dal contenitore con l'operatore "W3".	5

Nelle operazioni 22 e 24, per essere più specifici, è necessario collocare i rivestimenti su un banco di lavoro e stendere l'adesivo sigillante prima di entrare dal lato interno ingresso posteriore ed effettuare il posizionamento.

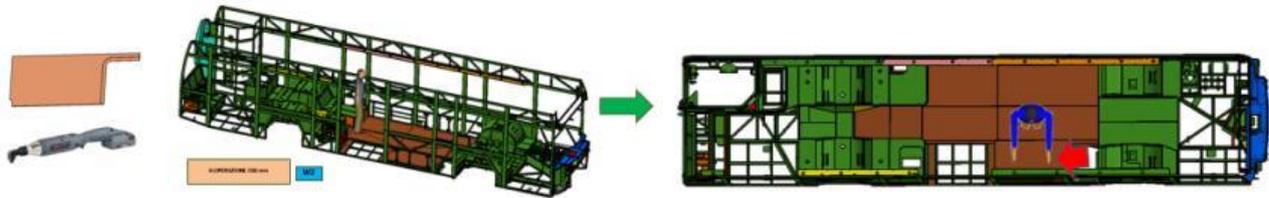


Figura 22. Operazione 20 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W2	25	Utilizzando la rivettatrice, rivettare il rivestimento interno vano motore completo "F343334_00.1" (12 rivetti).	3
W2	26	Prelevare la pompa (già assemblata ed esclusa di tubazione) dell'impianto sospensioni "F239782_01", inserire i perni filettati nella staffa di supporto e avvitare i 2 dadi.	5
W2	27	Prelevare la pompa (già assemblata ed esclusa di tubazione) dell'impianto alimentazione aria "F239794_03.1". Bloccare con le viti sulla staffa di fissaggio.	6
W2	28	Prelevare l'impianto dei servizi ausiliari (già assemblato ed escluso di tubazione) "F239786_01.1". Utilizzando l'avvitatore, imbastire ed avvitare le 6 viti T.E.	6
W2 + W1	29	Prelevare la tubazione dell'impianto di alimentazione aria "F249720_SD" ed effettuare la stesura con l'operatore "W1".	20
W2	30	Prelevare la levigatrice ed effettuare la levigatura sulla pavimentazione in modo da poter rimuovere lo stucco eccessivo tra una tavola e l'altra.	15

L'abbreviazione T.E. presente nella descrizione dell'operazione 28 si riferisce al tipo di vite utilizzata, ossia quella a testa esagonale. In questa operazione è necessario bloccare l'impianto dei servizi ausiliari con le viti sulla staffa di fissaggio. Successivamente, bisogna posizionare e fascettare la tubazione dell'impianto sospensioni proveniente dal rivestimento interno e bloccare/legare i due estremi sulla struttura (il montaggio andrà eseguito successivamente con veicolo sollevato).

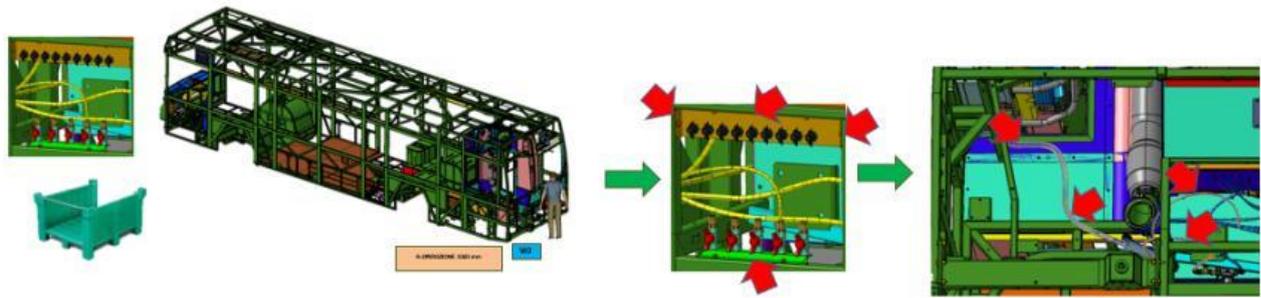


Figura 23. Operazione 28 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W2	31	Inserire nelle fasce metalliche precedentemente montate la bombola dell'impianto freni di servizio.	2
W2	32	Prelevare la tubazione dell'impianto freni di servizio ed utilizzare la chiave esagonale ed il teflon necessario per serrare i raccordi.	12
W2	33	Portarsi sul lato esterno e raggiungere la pompa dell'alimentazione aria sul lato posteriore e connettere la tubazione.	10
W2	34	Montaggio cablaggio interno.	35

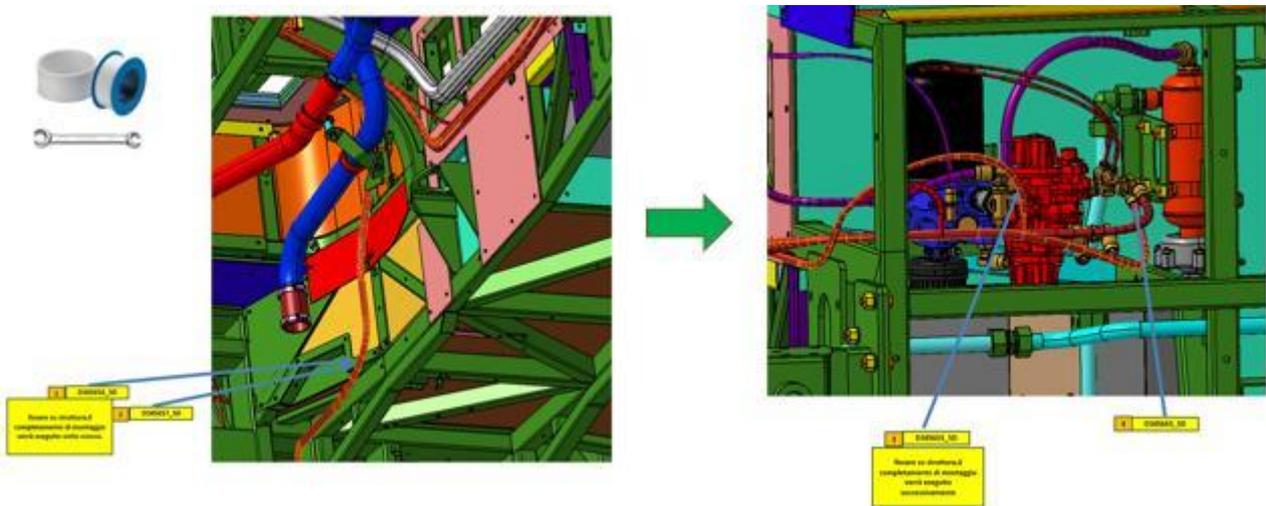


Figura 24. Operazione 33 del lavoratore W2 assegnato alla stazione 1.

Nell'operazione 33, la tubazione deve essere connessa rispettando la sequenza di montaggio, che si può osservare nella Figura 24. In pratica, deve essere fissata in tre punti diversi prima di essere collegata.

Dettaglio operazioni W3 (worker 3)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W3 + W1	1	Attendere arrivo scocca (carroponte movimentato da "W1").	3
W3	2	Attendere rimozione funi/catene e fuori ingombro carroponte.	4
W3	3	Posizionare il cestello per lavori in altezza sul lato posteriore sinistro del veicolo e prelevare la rivettatrice a batteria con i rivetti necessari.	1
W3	4	Prelevare n.1 staffa "F254833_SD" ed imbastire e rivettare sulla traversa (12 rivetti).	2
W3	5	Prelevare n.1 staffa "F254833_SD" ed imbastire e rivettare sulla traversa (11 rivetti).	2
W3	6	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257612_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare dall'alto verso il basso (28 rivetti).	5

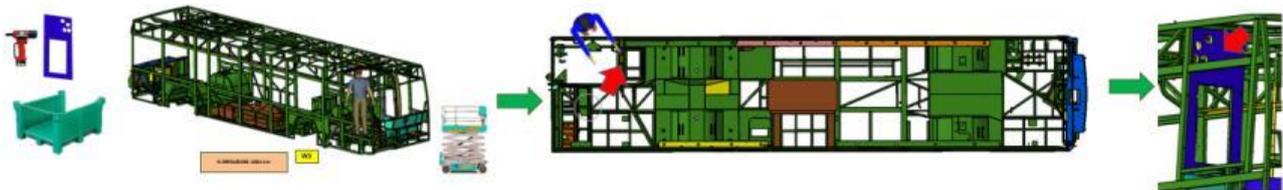


Figura 25. Operazione 6 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W3	7	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257623_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare dall'alto verso il basso (28 rivetti).	5
W3	8	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257622_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare dall'alto verso il basso (12 rivetti).	2
W3	9	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257611_SE" dal contenitore, posizionare e rivettare dall'alto verso il basso (26 rivetti). Riposizionare la scala a bordo linea.	5
W3	10	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257605_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (5 rivetti) in basso sul lato destro.	2
W3	11	Prelevare n.3 staffe angolari isolamento interno vano motore "F252405_00 - F252406_00 - F252407_00 " e 1 copertura "F252524_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (18 rivetti).	4
W3	12	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252523_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (9 rivetti).	2

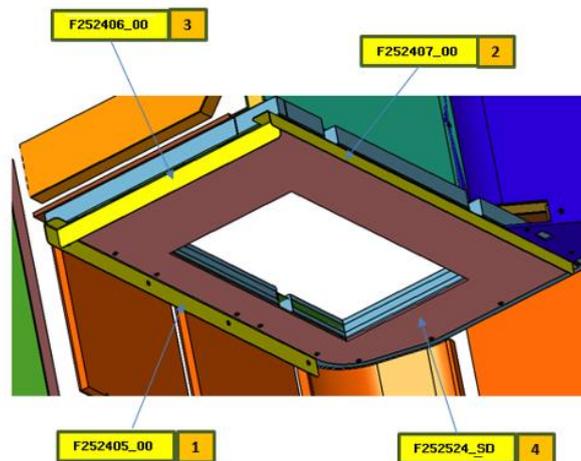


Figura 26. Operazione 11 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.

Come si può notare dall'immagine, le tre staffe angolari dell'isolamento interno vano motore (in giallo) vengono posizionate e rivettate secondo la sequenza indicata. Successivamente, viene posizionata la copertura (in viola) e rivettata anch'essa.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W3	13	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257626_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (14 rivetti).	3
W3	14	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252514_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (8 rivetti).	2
W3	15	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257625_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (34 rivetti).	6
W3	16	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252508_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (6 rivetti).	2
W3	17	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252410_00" dal contenitore, posizionare e rivettare (13 rivetti).	3
W3	18	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252509_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (11 rivetti).	3
W3	19	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257624_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (14 rivetti).	3
W3	20	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F257621_SD" dal contenitore, posizionare e rivettare (11 rivetti).	3
W3	21	Prelevare n.1 isolamento interno vano motore "F252409_00" dal contenitore, posizionare e rivettare (2 rivetti).	1
W3 + W2	22	Prelevare il rivestimento interno testata posteriore completo "F243334_00.1" dal contenitore con l'operatore "W2".	5
W3	23	Prelevare la maschera prova lunotto ed applicare i morsetti sul rivestimento interno testata posteriore.	5

Nell'operazione 22, il rivestimento interno testata posteriore deve essere collocato su un banco di lavoro ed è essenziale stendere l'adesivo sigillante prima di entrare dal lato interno ingresso

posteriore ed effettuare il posizionamento. Per quanto riguarda l'operazione 23, bisogna proteggere il rivestimento interno testata posteriore nelle zone dove avviene il fissaggio ed utilizzare pezzi di tavolato per allargare la zona di pressione.

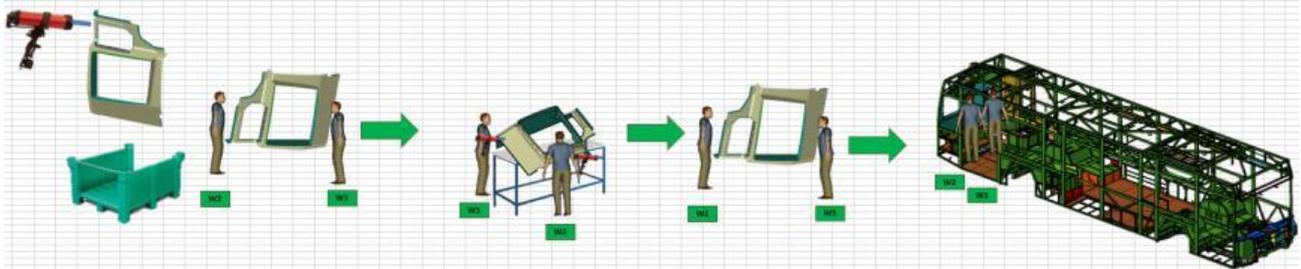


Figura 27. Operazione 22 del lavoratore W3 (supportato da W2) assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W3 + W4	24	Prelevare il rivestimento interno vano motore completo "F248795_00.1" dal contenitore con l'operatore "W4".	5
W3	25	Prelevare ed applicare i morsetti sul rivestimento interno vano motore.	3
W3 + W4	26	Utilizzando il paranco/gru, prelevare ed agganciare in modo idoneo dal contenitore lo scarico motore assemblato. L'operatore "W4" si occuperà della posizione delle scale e del corretto centraggio del tetto. Movimentare/rimuovere seguendo le indicazioni dell'operatore "W4".	10
W3	27	Prelevare dal contenitore la tubazione dello scarico motore ed eseguire il posizionamento ed avvitatura su staffe.	2
W3 + W4	28	Utilizzando l'avvitatore necessario, imbastire ed avvitare le 12 viti T.E. mentre l'operatore "W4" mantiene il radiatore fermo in posizione tramite il manipolatore.	3
W3	29	Prelevare n.2 fasce metalliche dell'impianto servizi ausiliari "F025097_01.2" e avvitare nella struttura interna per il successivo montaggio della bombola.	3
W3	30	Prelevare n.1 bombole dell'impianto servizi ausiliari "F239791_00" ed inserire nelle fasce metalliche precedentemente montate.	3

Per le operazioni 24 e 25 è necessario avere la stessa premura adottata rispettivamente per le operazioni 22 e 23.

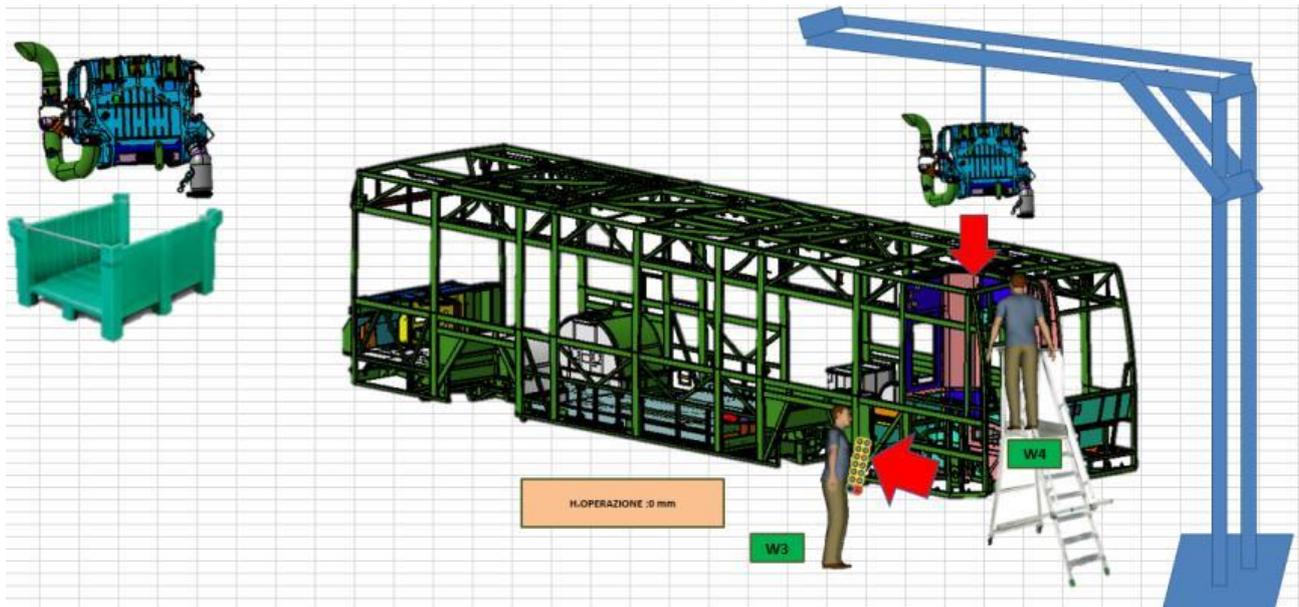


Figura 28. Operazione 26 del lavoratore W3 (supportato da W4) assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W3	31	Prelevare e montare le tubazioni dell'impianto servizi ausiliari.	4
W3	32	Posizionare il cestello automatizzato per eseguire operazioni in altezza sul lato posteriore del veicolo. Attendere l'arrivo del convogliatore radiatore urea a padiglione "F250118_00.1"; posizionare ed avvitare sul tetto.	5
W3	33	Posizionare il cestello automatizzato per eseguire operazioni in altezza sul lato posteriore del veicolo e attendere arrivo dell'impianto di raffreddamento iniettore urea.	5
W3	34	Prelevare dal contenitore i 4 tubi dell'impianto di raffreddamento iniettore urea, effettuare il posizionamento ed utilizzando la chiave esagonale a tubo flessibile serrare le fascette metalliche.	5
W3	35	Portarsi sul lato motore ed eseguire la connessione della tubazione dell'impianto di raffreddamento iniettore urea allo scarico motore utilizzando la chiave esagonale necessaria e teflon.	5
W3	36	Prelevare dal contenitore l'impianto di aspirazione motore "F243349_03.1" (privo di una parte di tubazione) ed effettuare il montaggio.	10
W3	37	Prelevare dal contenitore la tubazione dell'impianto di aspirazione motore "F243349_03.1" ed effettuare il montaggio.	5
W3	38	Prelevare dal contenitore la vaschetta dell'impianto di raffreddamento motore (priva di tubazione) "F243349_03.1" e posizionare sulla staffa. Imbastire le 3 viti ed utilizzando la chiave esagonale a tubo flessibile s eseguire il fissaggio.	5
W3	39	Prelevare dal contenitore le tubazioni dell'impianto di raffreddamento motore, posizionare e fissare rispettando la sequenza di montaggio.	15
W3	40	Montaggio cablaggio interno lato autista.	23

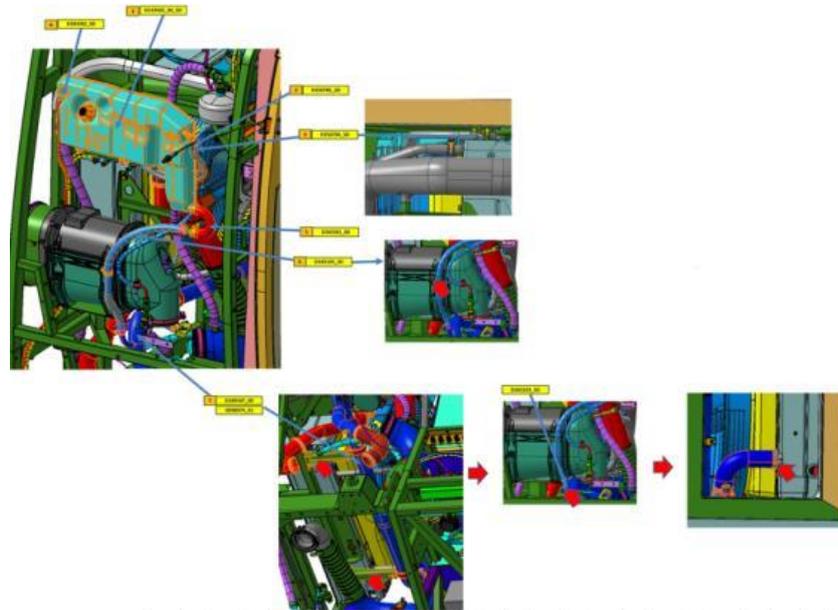


Figura 29. Operazione 39 del lavoratore W3 assegnato alla stazione 1.

Dettaglio operazioni W4 (worker 4)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W4	1	Attendere arrivo scocca (carroponte movimentato da "W1").	3
W4	2	Attendere rimozione funi/catene e fuori ingombro carroponte.	4
W4	3	Prelevare e montare n.1 tubo sbrinamento "F249947_SD", 2 fascette metalliche "0178421_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	2
W4	4	Prelevare e montare n.1 tubo sbrinamento "F249946_SD", 2 fascette metalliche "0178421_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	2
W4	5	Prelevare n.1 tubo sbrinamento "F249945_SD", 2 fascette metalliche "0178421_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	2
W4	6	Prelevare n.1 tubo sbrinamento "F249944_SD", 2 fascette metalliche "0178421_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	2
W4	7	Posizionare una scala idonea sul lato SX anteriore e prelevare n.1 presa aria autista completa "F24564_00.1" dal contenitore, posizionare e rivettare (6 rivetti).	5



Figura 30. Operazione 7 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W4	8	Prelevare n.1 tubo aria autista "F244136_SD", 2 fascette metalliche "F244135_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	4
W4	9	Prelevare n.1 tubo aria autista "F244133_SD", 2 fascette metalliche "F244134_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	5
W4	10	Prelevare n.1 tubo aria autista "F244133_SD", 2 fascette metalliche "F244134_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	5
W4	11	Prelevare n.1 tubo aria autista "F244132_SD", 2 fascette metalliche "F244134_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	5
W4	12	Prelevare n.1 tubo aria autista "F244131_SD", 2 fascette metalliche "F244134_SD" e posizionare sugli estremi del tubo.	5
W4	13	Prelevare n.1 staffa dell'impianto tergicristallo "F247656_SD" dal contenitore e montare.	2
W4	14	Prelevare n.1 serbatoio dell'impianto tergicristallo "4712653_00" dal contenitore e montare.	2
W4	15	Prelevare le mollette "1_04409_90_SD" dell'impianto tergicristallo ed imbastire la vite nell'apposita traversa per la successiva applicazione della tubazione.	1
W4	16	Prelevare la tubazione dell'impianto tergicristallo "F247658_01_1". Inserire nelle mollette applicate precedentemente e nella pompa posizionata sotto il serbatoio.	3
W4	17	Prelevare n.1 kit di composizione impianto tergicristallo (bielle, motorino e bussole) privo di braccia e spazzole. Scollegare il motorino (verrà riposizionato nell'operazione successiva).	3
W4	18	Utilizzando la chiave esagonale necessaria serrare tutti i dadi e ricollegare il motorino precedentemente sconnesso.	2

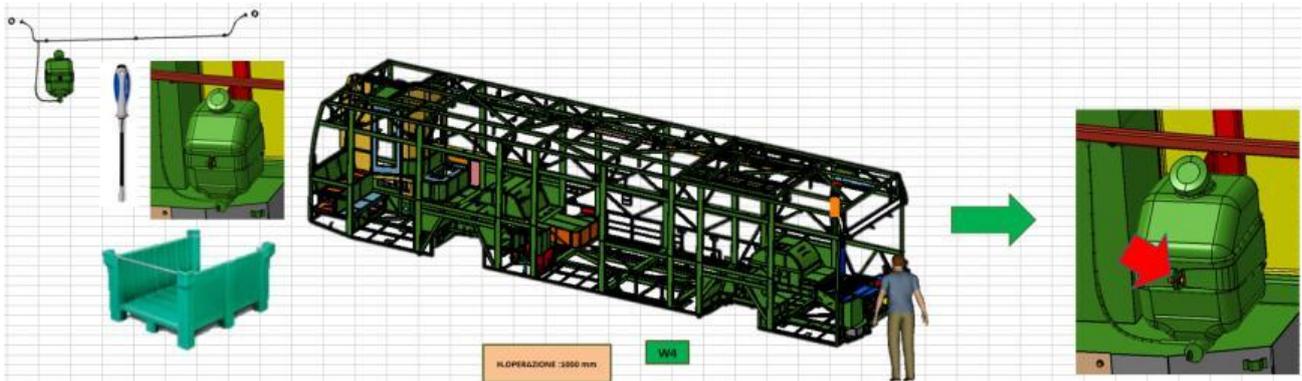


Figura 31. Operazione 14 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W4	19	Prelevare cablaggio elettrico cruscotto autista ed installare.	5
W4	20	Prelevare cablaggio elettrico cruscotto anteriore "Centralina B" ed installare.	5
W4	21	Prelevare cablaggio elettrico cruscotto anteriore "Ebs-Esc" ed installare.	6
W4	22	Prelevare e posizionare il cestello automatizzato per eseguire le operazioni in altezza sul lato posteriore del veicolo. Prelevare la predisposizione per il cartello indicatore posteriore completo "F245569", posizionare e avvitare le 5 viti.	3
W4	23	Prelevare dal contenitore la cassa batteria completa "F239844.02.1", posizionarla sopra una piccola tavola a pantografo/crick. Portarla in posizione ed utilizzando l'avvitatore necessario imbastire e avvitare le viti a T.E. (10).	5
W4 + W3	24	Posizionare il cestello automatizzato per eseguire le operazioni in altezza per il raggiungimento della zona tetto per successiva operazione e attendere arrivo dello scarico motore dall'operatore "W3" per eseguire il corretto centraggio e posizionamento.	5

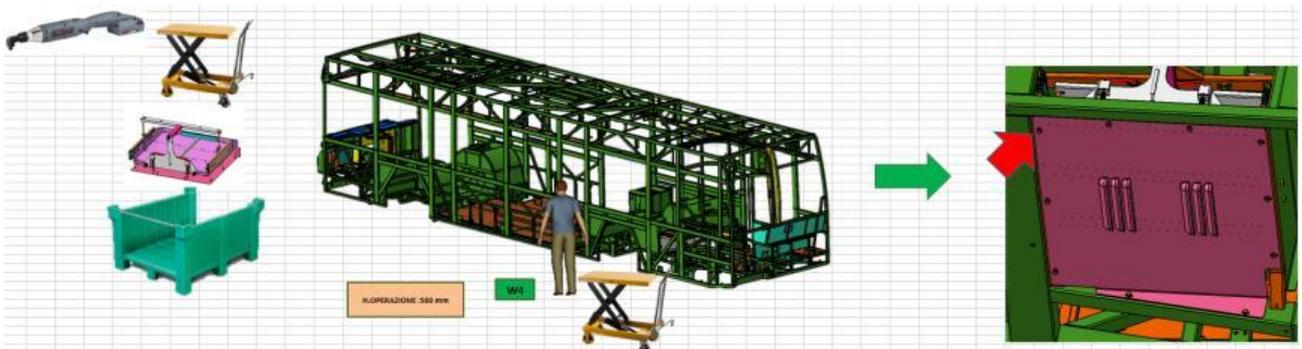


Figura 32. Operazione 23 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W4	25	Munirsi dell'avvitatore e viti necessarie; dopo l'ingresso dello scarico motore proseguire con l'avvitatura delle staffe su tetto per proseguire poi sulla staffa centrale (tot.10 viti a T.E.).	5
W4	26	Utilizzando il manipolatore, estrarre il radiatore (completo) dal contenitore e portare l'elemento sulla postazione di lavoro sul veicolo.	5
W4	27	Effettuare la stesura della tubazione dell'impianto servizi ausiliari fino al raggiungimento della pompa. Arrivati alla pompa effettuare il collegamento utilizzando la chiave esagonale necessaria ed il teflon.	10
W4 + W3	28	Utilizzando il paranco/gru, posizionare il convogliatore radiatore urea a padiglione "F250118_00.1" sul tetto del veicolo e attendere ok dall'operatore "W3" per la rimozione/fuori ingombro del paranco/gru.	5
W4 + W3	29	Utilizzando il paranco/gru, posizionare l'impianto di raffreddamento iniettore urea "F250724_01.1" (priva di tubazione flessibile) sul tetto del veicolo e attendere ok dall'operatore "W3" per la rimozione/fuori ingombro del paranco/gru.	5
W4	30	Prelevare dal contenitore la pedana ribalta completa "F258599_00.1" ed eseguire il montaggio.	5
W4	31	Prelevare dal contenitore la predisposizione del cartello indicatore laterale "F245570_00.1" ed eseguire il serraggio di viti e dadi esagonali utilizzando l'avvitatore.	3
W4	32	Prelevare l'isolamento padiglione e posizionare.	30
W4	33	Montaggio cablaggio esterno lato posteriore.	20
W4	34	Montaggio cablaggio esterno lato anteriore.	13



Figura 33. Operazione 30 del lavoratore W4 assegnato alla stazione 1.

Riassumendo, nella prima stazione sono state svolte le prime operazioni da eseguire sulla scocca del veicolo, appena giunto dal reparto di verniciatura. Sono stati montati i tavolati utilizzando lo stucco, l'isolamento del padiglione, gli isolamenti interni sul lato posteriore, il rivestimento interno della testata, l'impianto sospensioni, l'impianto freni di servizio, l'impianto di alimentazione aria, l'impianto dei servizi ausiliari, i cartelli indicatori, la cassa batteria, la pedana a ribalta completa, la tubazione sbrinamento, l'impianto tergilicristallo, una parte dei cablaggi elettrici ed altri componenti necessari al fine di ottenere il corretto funzionamento del veicolo.

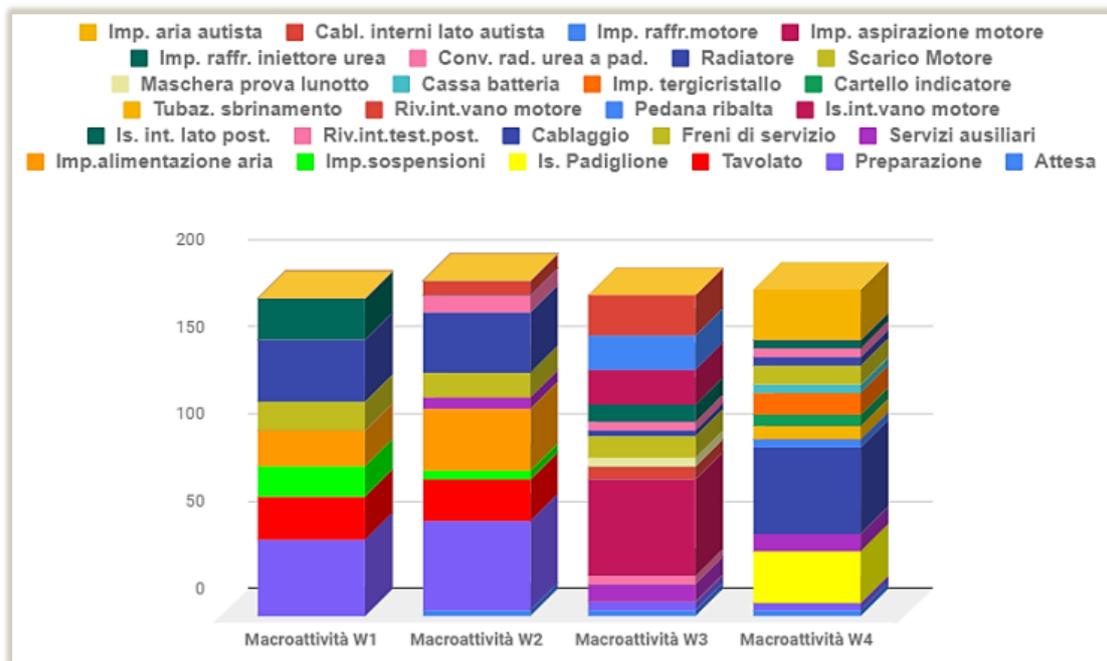


Figura 34. Macro-attività svolte dagli operatori nella prima stazione.

Le attività svolte non devono superare il tempo ciclo stabilito (222 minuti) ed è necessario evitare un'alta percentuale di saturazione del lavoratore. Nella figura sottostante vengono illustrati graficamente i tempi totali di esecuzione delle operazioni assegnate ad ogni operatore.

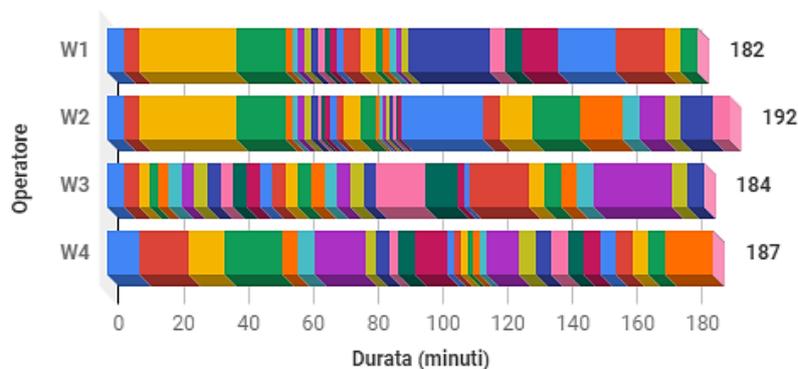


Figura 35. Tempi totali delle attività svolte nella stazione 1.

Come si può notare dalle tabelle che illustrano nel dettaglio le differenti operazioni, gli operatori W2, W3 e W4 hanno nella loro sequenza di montaggio un'operazione di attesa della durata di 3 minuti.

È necessario calcolare a questo punto la saturazione degli operatori, data dalla divisione tra il tempo totale di esecuzione delle attività (una volta sottratti i tempi di attesa, se presenti nella sequenza delle operazioni) ed il tempo ciclo. Per ottenere la saturazione percentuale è sufficiente moltiplicare il risultato per cento.

$$\text{Percentuale di saturazione } W_i = \frac{\sum_{k=1}^n t_{\text{esecuzione op. } k} W_i - \sum_{k=1}^n t_{\text{op. attesa } k} W_i}{\text{Tempo Ciclo}} * 100$$

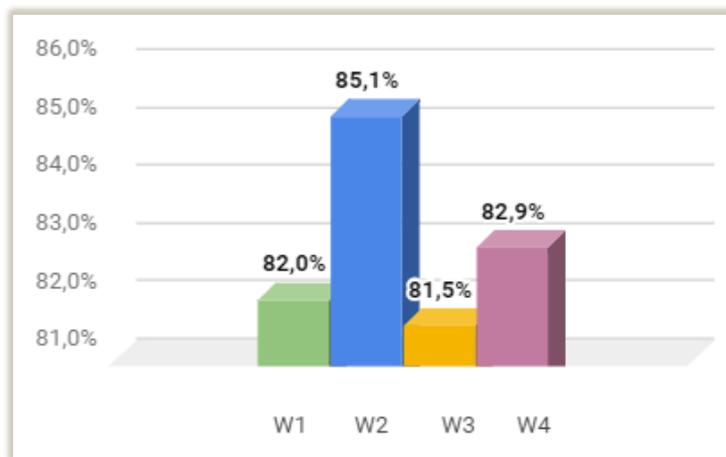


Figura 36. Saturazione percentuale degli operatori nella stazione 1.

$$\text{Percentuale di saturazione } W1 = \frac{182}{222} * 100 = 82\%.$$

$$\text{Percentuale di saturazione } W2 = \frac{(192-3)}{222} * 100 = 85,1\%.$$

$$\text{Percentuale di saturazione } W3 = \frac{(184-3)}{222} * 100 = 81,5\%.$$

$$\text{Percentuale di saturazione } W4 = \frac{(187-3)}{222} * 100 = 82,9\%.$$

STAZIONE 2

In questa stazione verranno montati componenti relativi a differenti rivestimenti, ossia quelli dei fianchi, della pavimentazione, della testata anteriore, del serbatoio combustibile.

Saranno assemblati, tra gli altri, la plancia, l'impianto di sbrinamento, l'impianto urea, i pulsanti di apertura porta e la paratia retro-autista.

Dettaglio operazioni W5 (worker 5)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W5 + W6	1	Prelevare il veicolo dalla stazione 1 e posizionare nella stazione 2.	3
W5	2	Prelevare n.1 pistola ad aria, entrare all'interno del veicolo e soffiare sulla pavimentazione in legno.	4
W5	3	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante nella zona posteriore.	15
W5	4	Prelevare i rivestimenti pavimento, applicare nelle zone incollate delle tavole di legno con i pesi necessari.	30
W5	5	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante nella zona posteriore.	10
W5	6	Prelevare i rivestimenti pavimento (a terra), applicare nelle zone incollate delle tavole di legno con i pesi necessari.	20
W5	7	Prelevare i paragrafini e posizionare. Rispettare la sequenza di montaggio (da 1 alla 11).	15
W5	8	Prelevare e montare impianto freno di stazionamento (F299776_001.1) interno padiglione lato sinistro zona autista e lato posteriore.	2
W5	9	Prelevare e montare impianto UREA (F257981_00.1) nell'interno padiglione lato destro e lato posteriore (completare successivamente sottoscocca).	20
W5	10	Prelevare e montare impianto sbrinamento e preriscaldamento (solo scatola) lato anteriore esterno (F242803_00).	5
W5	11	Prelevare e montare il pulsante esterno apertura porta anteriore lato anteriore esterno (F251414_001.1).	5
W5	12	Prelevare e montare il faro motore sul lato posteriore esterno (F252258_001.1).	5
W5	13	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco sinistro dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243712_02).	2
W5	14	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243712_02) e posizionare nella zona precedentemente incollata. Applicare i morsetti.	5
W5	15	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco sinistro dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243711_01).	5
W5	16	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243711_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15
W5	17	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco sinistro dove verranno posizionati successivamente il rivestimento interno fianco (F243710_01) ed il fianco (F243718_02).	11

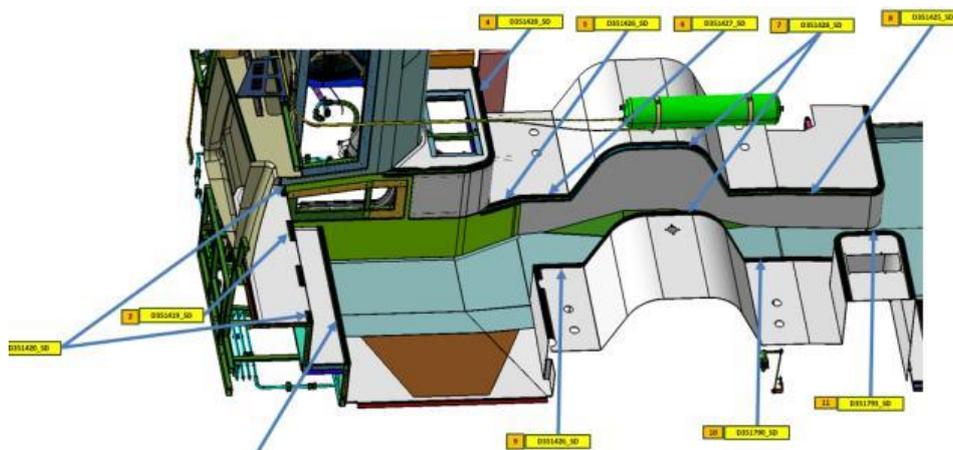


Figura 37. Operazione 7 del lavoratore W5 assegnato alla stazione 2.

Dettaglio operazioni W6 (worker 6)

Operatore assegnato	N° Operazione	Descrizione Operazione	Tempo di esecuzione (minuti)
W6 + W5	1	Prelevare il veicolo dalla stazione e posizionare nella stazione 2. Operazione da eseguire con l'operatore "W5".	3
W6	2	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante nella zona centrale ed anteriore.	10
W6	3	Prelevare i rivestimenti pavimento (a terra), applicare nelle zone incollate delle tavole di legno con i pesi necessari.	30
W6	4	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante nella zona centrale ed anteriore.	10
W6	5	Prelevare i rivestimenti pavimento, applicare nelle zone incollate delle tavole di legno con i pesi necessari.	20
W6	6	Utilizzando il manipolatore, prelevare l'impianto di alimentazione combustibile completo (privo di tubazione) "F243531_03.1" dal contenitore e posizionare all'interno del veicolo passando dall'ingresso centrale.	15
W6	7	Utilizzando il manipolatore, prelevare il rivestimento serbatoio combustibile completo (privo di tubazione) "F243957_00.1" dal contenitore e posizionare all'interno del veicolo passando dall'ingresso centrale.	15
W6	8	Prelevare i paragrafini e posizionare. Rispettare la sequenza di montaggio (dalla 1 alla 8).	10

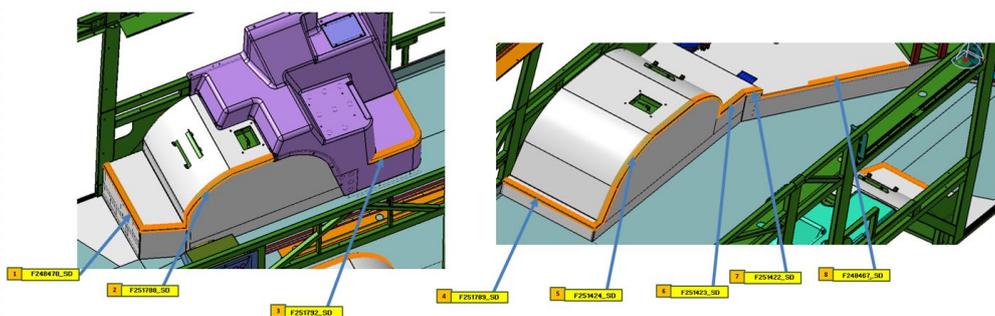


Figura 38. Operazione 8 del lavoratore W6 assegnato alla stazione 2.

Nell'immagine in alto sono evidenziati i punti di posizionamento ed incollaggio degli isolamenti fianchi, nonché i loro codici di identificazione.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W6	9	Prelevare le botole pavimento "F246930_02.1" dal contenitore e posizionare nella sequenza indicata.	6
W6	10	Prelevare ed eseguire il montaggio dello sportello interno testata posteriore (F246095_001.1).	1
W6	11	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243772_01).	3
W6	12	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F243772_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	10
W6	13	Posizionare la scala e prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F244644_01).	7
W6	14	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F244644_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	20
W6	15	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante sull'isolamento interno da applicare sul fianco interno sinistro. Applicare nelle zone necessarie.	30
W6	16	Applicare i morsetti (F243710_01) sui rivestimenti posizionati ed il rivestimento interno fianco (F243718_02).	7

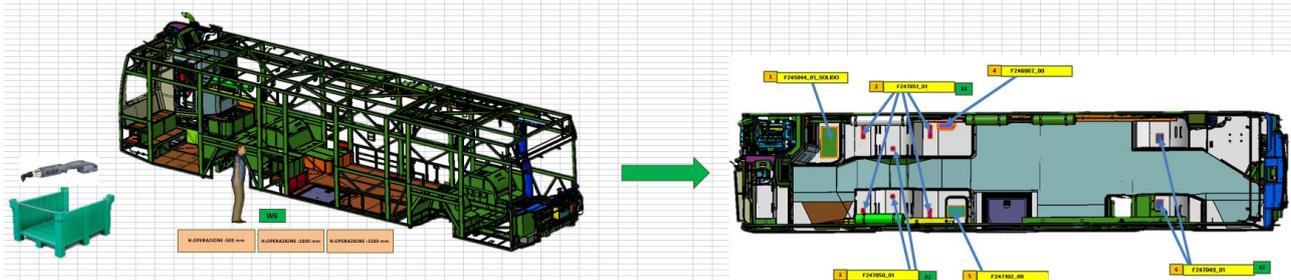


Figura 39. Operazione 9 del lavoratore W6 (supportato da W5) assegnato alla stazione 2.

Dettaglio operazioni W7(worker 7)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W7 + W6 + W5	1	Attendere arrivo scocca.	3
W7	2	Prelevare ed eseguire il montaggio della paratia retro-autista (F245261_001.1) utilizzando il	10

		manipolatore.	
W7	3	Prelevare ed eseguire il montaggio della plancia inferiore SX (F242627_001.1) utilizzando il manipolatore + collegamento impianto freno di stazionamento.	15
W7	4	Prelevare ed eseguire il montaggio della plancia anteriore (F242740_001.1) completa utilizzando il manipolatore + connessione impianto elettrico.	25
W7	5	Prelevare ed eseguire il montaggio del rivestimento inferiore plancia (F242740_001.1).	20
W7	6	Prelevare ed eseguire il montaggio della plancia superiore SX (F243238_001.1) e rimuovere le botole per eseguire il serraggio delle viti.	15
W7	7	Prelevare ed eseguire il montaggio del rivestimento cartello indicatore anteriore (F256832_001.1).	15
W7	8	Prelevare e montare copri montanti anteriori (F244960_001.1).	5
W7	9	Prelevare e montare illuminazione zona autista (F245826_001.1).	5

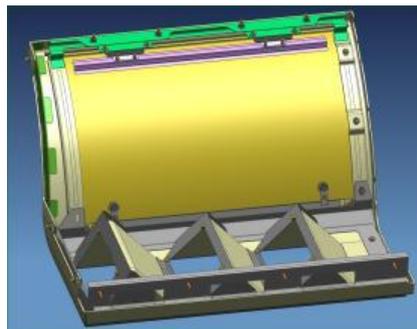


Figura 40. Plancia superiore sinistra.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W7	10	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante sull'isolamento interno da applicare sul fianco interno destro.	30
W7	11	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco DX, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243704_01).	3
W7	12	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243704_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	10
W7	13	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco DX, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243717_02).	5

W7	14	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243717_02), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15
W7	15	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco DX, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243706_01).	1
W7	16	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243706_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	2
W7	17	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente su struttura e isolamento interno fianco DX, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento interno fianco (F243707_01).	6
W7	18	Prelevare i rivestimenti interno fianco (F243710_01) e (F243718_02). Applicare nella zona precedentemente incollata.	12



Figura 41. Pistola erogatrice per colla.

Dettaglio operazioni W8(worker 8)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W8	1	Prelevare e montare veletta anteriore completa (F243808_001.1) utilizzando il manipolatore.	10
W8	2	Prelevare tramite manipolatore il rivestimento esterno testata anteriore ed eseguire il montaggio (F242868_02.1).	15
W8	3	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco destro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F258853_00).	5
W8	4	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F258853_00), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15
W8	5	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco destro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F259594_00_1).	5
W8	6	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F259594_00_1),	15

		posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	
W8	7	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco destro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F253730_01).	3
W8	8	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F253730_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	10
W8	9	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco destro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243269_01).	5
W8	10	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F243269_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15

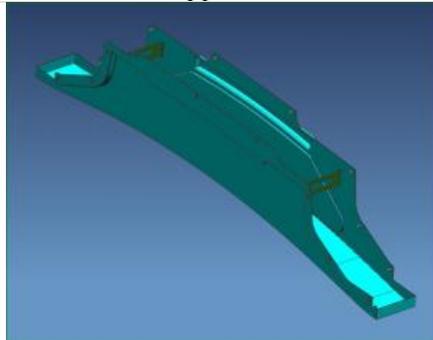


Figura 42. Veletta anteriore completa.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W8	11	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco destro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F259039_00).	3
W8	12	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F259039_00), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	10
W8	13	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243268_01).	3
W8	14	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F243268_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15
W8	15	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243667_00).	5
W8	16	Prelevare il rivestimento esterno fianco	15

		(F243667_00), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	
W8	17	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243714_01).	5
W8	18	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F243714_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	15
W8	19	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sul fianco sinistro della struttura, dove verrà posizionato successivamente il rivestimento esterno fianco (F243270_01).	3
W8	20	Prelevare il rivestimento esterno fianco (F243270_01), posizionare nella zona precedentemente incollata ed applicare i morsetti.	10
W8	21	Prelevare il rivestimento interno fianco (F243707_01), posizionare nella zona precedentemente incollata dall'operatore "W7" ed applicare i morsetti.	17

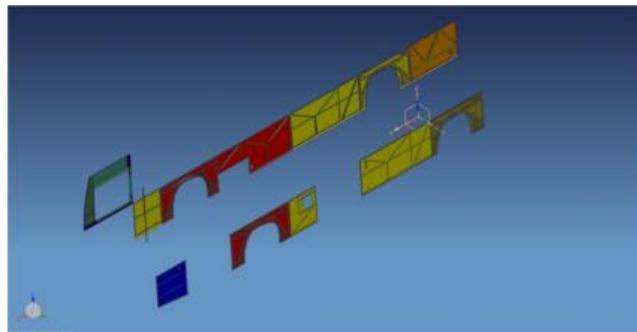


Figura 43. Rivestimenti esterni fianchi.

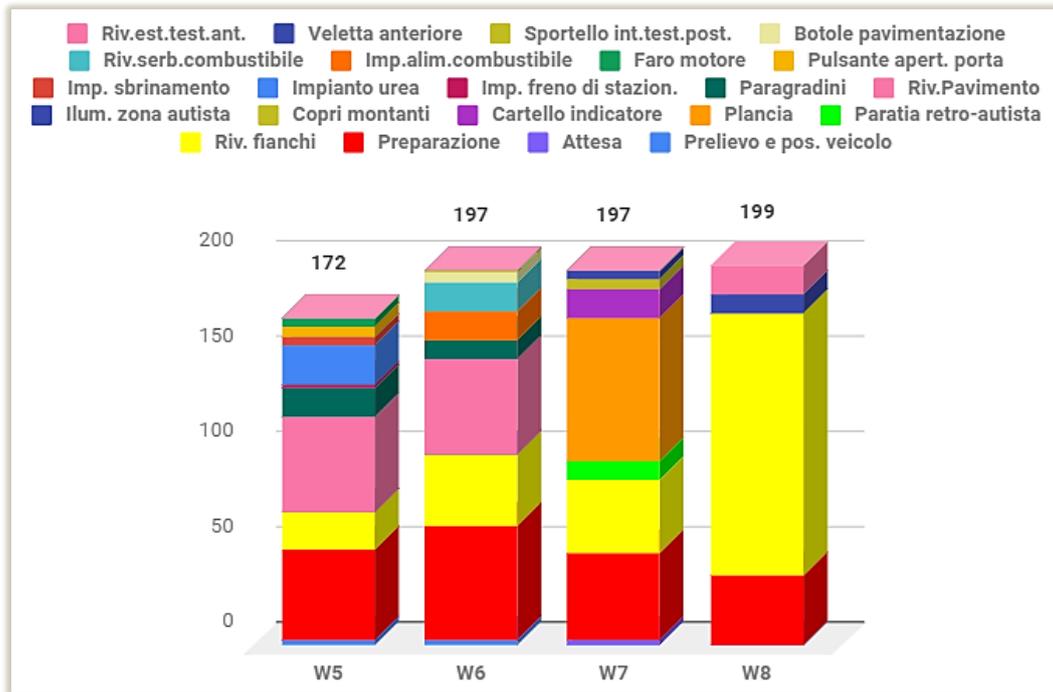


Figura 44. Macro-attività svolte dagli operatori nella seconda stazione (con tempo ciclo).

La saturazione percentuale è stata quindi calcolata attraverso le medesime formule utilizzate per la stazione 1.

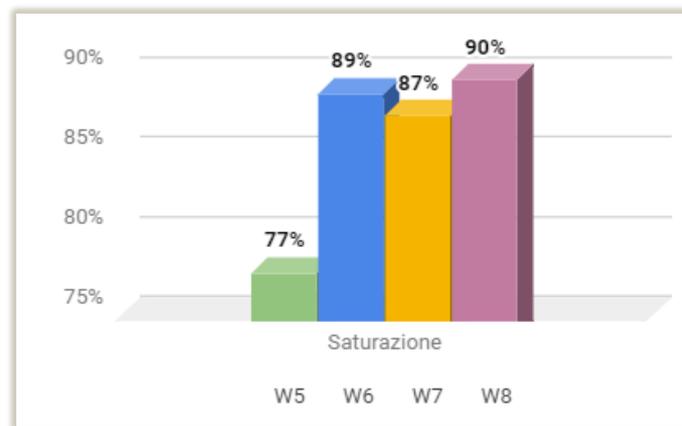


Figura 45. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 2.

STAZIONE 3

Questa stazione si dedica al montaggio di svariati elementi, tra cui la tendina autista, il cruscotto, i condotti d'aria interni, la centralina, il padiglione, i pulsanti di richiesta fermata, i copri montanti interni, il nottolino.

Dettaglio operazioni W9 (worker 9)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W9 + W10	1	Prelevare il veicolo dalla stazione 2 e posizionare nella stazione 3.	3
W9	2	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sulla zona dove verranno posizionati successivamente i copri montanti interni lato destro).	15
W9	3	Prelevare e montare copri montanti interni lato destro.	30
W9	4	Prelevare e montare i pulsanti di richiesta fermato e suoneria lato destro.	30
W9	5	Prelevare e montare i profili finizione padiglione (F250761_01.1), partendo dal lato posteriore.	20
W9	6	Prelevare e montare le mensole ed i tamponi motore (F249336_00.1). Sono necessarie 16 viti a T.E.	5
W9	7	Prelevare e montare nottolino avviamento e devio luci in zona autista.	30
W9	8	Prelevare e montare la centralina in zona autista ed effettuare le connessioni.	20
W9	9	Prelevare e montare la scatola fusibili in zona autista ed effettuare le connessioni.	20
W9 + W10	10	Prelevare e montare aeroterma lineare interno.	20

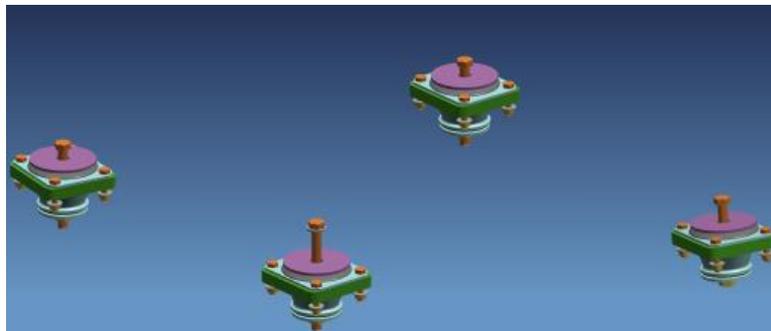


Figura 46. Mensole e tamponi motore.

Dettaglio operazioni W10 (worker 10)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W10 + W9	1	Prelevare il veicolo dalla stazione 2 e posizionare nella stazione 3.	3
W10	2	Prelevare n.1 erogatore, caricare la cartuccia e stendere l'adesivo sigillante uniformemente sulla zona dove verranno posizionati successivamente i copri montanti interni lato SX.	15
W10	3	Prelevare e montare copri montanti interni lato sinistro.	30

W10	4	Prelevare e montare i pulsanti di richiesta fermata e suoneria lato sinistro.	30
W10	5	Prelevare e montare le piastre comandi autista (F250052_00.1) su mobiletto superiore.	15
W10	6	Utilizzando il carroponete, prelevare la copertura catalizzatore (F251620_00.1) e posizionare sul tetto.	10
W10	7	Prelevare ed eseguire il montaggio dei condotti aria interni lato destro.	40
W10	8	Prelevare ed eseguire il montaggio degli sportelli fianchi esterni (escluso ""F250530_01""- zona motore).	30
W10 + W9	9	Prelevare e montare aeroterma lineare interno.	20

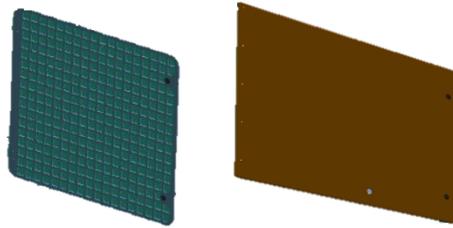


Figura 47. Sportelli fianchi esterni.

Dettaglio operazioni W11 (worker 11)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W11 + W10 + W9	1	Attendere arrivo scocca.	3
W11	2	Prelevare e montare i fanali laterali ed i pulsanti esterni lato destro.	30
W11 + W12	3	Posizionarsi sul tetto ed eseguire l'incollaggio per il successivo montaggio del rivestimento padiglione esterno (F248670_00.1).	20
W11 + W12	4	Utilizzando il carroponete, prelevare il rivestimento padiglione esterno (F248670_00.1) e posizionare vicino al tetto. Non posizionare direttamente sul tetto, attendere conferma dall'operatore "W12" per la posa.	10
W11	5	Utilizzando il carroponete, prelevare i pesi/tavolati/maschera da posizionare sul rivestimento padiglione esterno (F248670_00.1) e posizionare sul tetto.	10
W11	6	Utilizzando il carroponete, prelevare la botola padiglione (F248932_00.1) e posizionare sul tetto.	10
W11	7	Prelevare e montare sul padiglione lato posteriore la cornice para acqua (F247250_02.1) utilizzando il cestello per lavori in altezza.	10
W11 + W10	8	Attendere l'arrivo della copertura catalizzatore tramite carroponete movimentato dall'operatore W10 e dopo aver effettuato la posa proseguire all'avvitatura utilizzando l'avvitatore necessario.	20
W11	9	Rimuovere tutti i morsetti nelle zone precedentemente incollate.	40
W11	10	Prelevare ed eseguire il montaggio dei condotti aria interni lato sinistro.	5

W11	11	Prelevare ed eseguire il montaggio del cruscotto vano motore.	30
W11	12	Prelevare tramite manipolatore il cruscotto autista ed eseguire il montaggio.	5

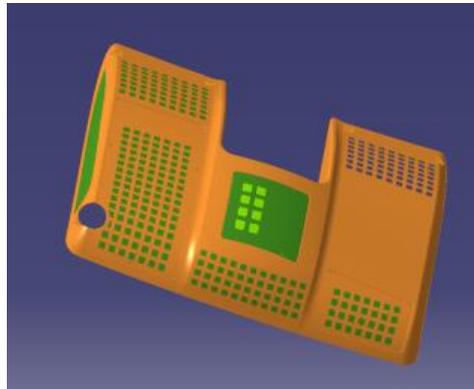


Figura 48. Copertura catalizzatore.

Dettaglio operazioni W12 (worker 12)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W12	1	Prelevare e montare i fanali laterali e pulsanti esterni lato sinistro.	30
W12 + W11	2	Posizionarsi sul tetto ed eseguire l'incollaggio per il successivo montaggio del rivestimento padiglione esterno (F248670_00.1).	20
W12 + W11	3	Posizionare gli inviti/riferimenti per accogliere il tetto dall'operatore "W11" e dopo essersi assicurato del corretto centraggio confermare all'operatore "W11" l'operazione della posa tramite carroponte.	10
W12	4	Coordinare i pesi/tavolati/maschera che l'operatore W11 deve posizionare sul tetto. Dopo la posa proseguire con il posizionamento dei morsetti di sicurezza.	10
W12	5	Attendere l'arrivo della botola padiglione (F248932_00.1) ed eseguire la sigillatura e montaggio.	20
W12	6	Prelevare ed eseguire il montaggio delle plafoniere interne (F248932_00.1).	30
W12	7	Prelevare ed eseguire il montaggio della pedaliera asportabile e completare la connessione sul lato anteriore esterno.	15
W12	8	Prelevare ed eseguire il montaggio dell'indicatore bifacciale.	5
W12	9	Prelevare ed eseguire il montaggio dei cartelli indicatori.	30

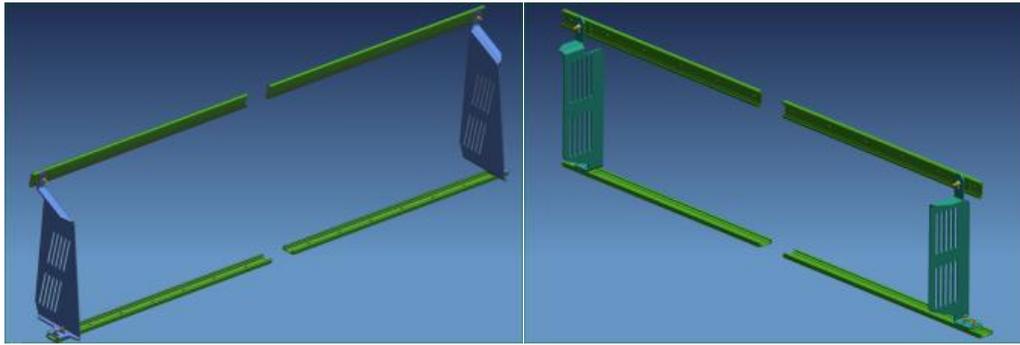


Figura 49. Predisposizioni per cartelli indicatori.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W12	10	Prelevare ed eseguire il montaggio della tendina autista.	15
W12	11	Rimuovere tutti i morsetti nelle zone precedentemente incollate.	5

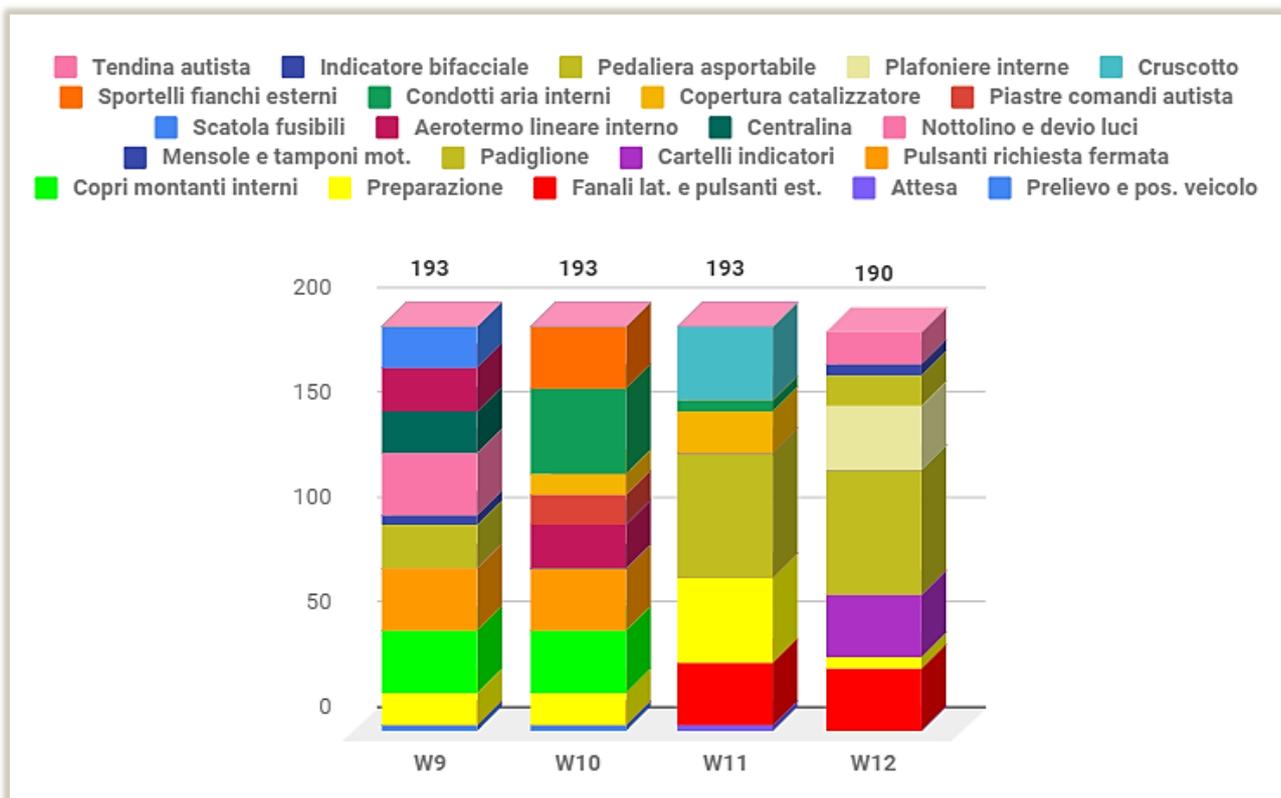


Figura 50. Macro-attività svolte dagli operatori nella terza stazione (con tempo ciclo).

La saturazione percentuale è stata quindi calcolata attraverso le medesime formule utilizzate per stazioni precedenti.

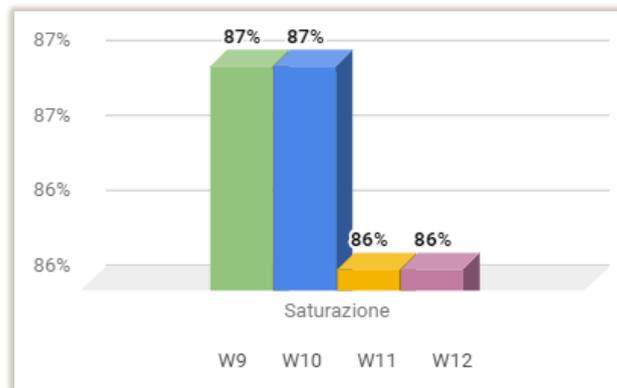


Figura 51. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 3.

STAZIONE 4

Arrivati a questo punto, il veicolo inizia già a prendere forma e vengono montati elementi indispensabili come il gruppo motore e cambio, le sospensioni, le ruote, l'albero di trasmissione. Inoltre, saranno assemblati i ripari molle posteriori, gli assali (anteriore e posteriore), la barra stabilizzatrice, il riparo motore e molti altri componenti.

La strumentazione utilizzata sarà composta da ponti sollevatori a colonne mobili, tavola a pantografo automatizzata e manipolatore industriale.

I ponti sollevatori a colonne mobili sono macchinari adibiti al sollevamento di pesanti strutture. Sono frequentemente utilizzati ponti a due colonne mobili nelle officine meccaniche per il sollevamento degli autoveicoli. I ponti utilizzati per le lavorazioni da effettuare in questa stazione utilizzano 4 colonne mobili e contano su di un sistema che garantisce un movimento fluido e sincronizzato dei carrelli.

La tavola a pantografo è uno strumento che consente di trasportare e sollevare oggetti con differenti forme e dimensioni. È un elemento molto comune negli ambienti produttivi e logistici, in quanto permette di effettuare operazioni rispettando l'aspetto ergonomico.

Il manipolatore industriale è uno strumento che permette la movimentazione manuale dei carichi. Consente al lavoratore di svolgere i compiti che gli sono stati assegnati in modo preciso, semplice, affidabile, sicuro e senza affaticarsi nello spostamento manuale di carichi pesanti.

Gli operatori addetti a questa stazione saranno W13, W14, W15 e W16, i quali svolgeranno le operazioni in completa collaborazione.

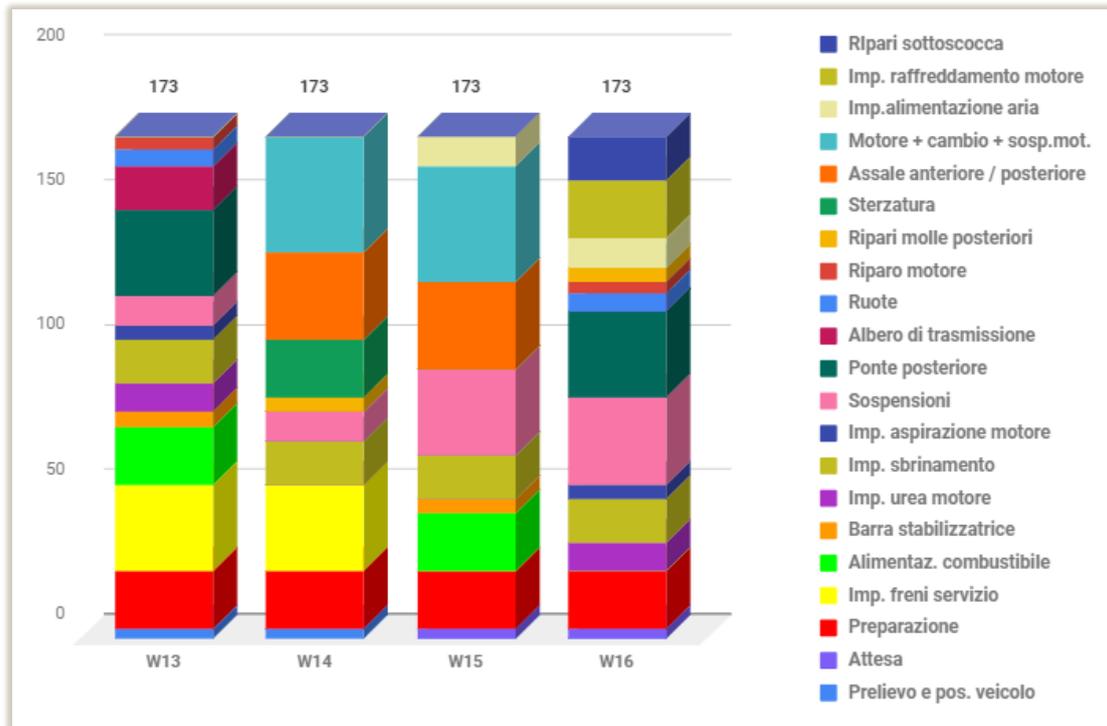


Figura 52. Macro-attività svolte dagli operatori nella quarta stazione (con tempo ciclo).

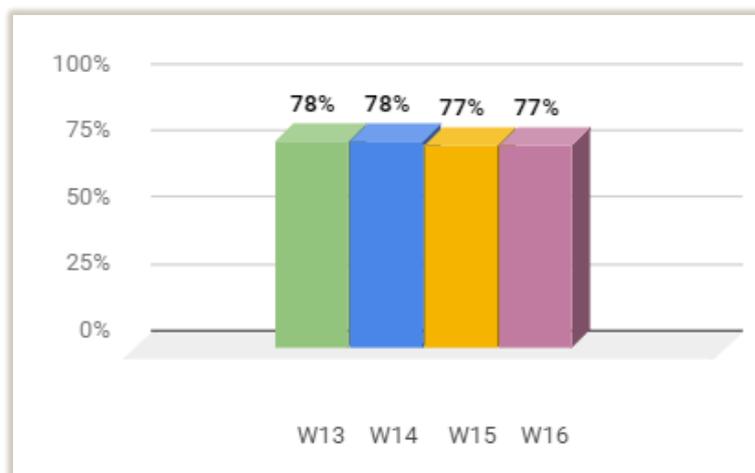


Figura 53. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 4.

STAZIONE 5

In questa stazione viene ultimato il ciclo di montaggio, assemblando sul veicolo componenti fondamentali come i cristalli laterali, i sedili, gli specchi retrovisori ed il parabrezza. Inoltre, verranno completate le operazioni di montaggio iniziate in stazioni precedenti come, ad esempio, l'impianto di alimentazione aria.

Dettaglio operazioni W17 (worker 17)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W17	1	Attendere arrivo del veicolo tramite trasportatore a spintore.	2
W17	2	Prelevare ed eseguire il montaggio degli 8 sedili passeggeri posteriori "F245012_00.1".	15
W17	3	Prelevare ed eseguire il montaggio dei mancorrenti posteriori "F248537_03.1" ed effettuare il collegamento dei pulsanti.	15
W17	4	Utilizzando il manipolatore, prelevare la porta completa posteriore ed eseguire il posizionamento e montaggio.	15
W17	5	Applicare il sigillante ed eseguire il montaggio delle bandelle sotto porta e posizionare protezione.	10
W17	6	Utilizzando il manipolatore, posizionare la batteria (senza effettuare le connessioni).	5



Figura 54. Sedile passeggero.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W17 + W20	7	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX "F257778_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W20	8	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sopra la porta "F257777_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W20	9	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sopra la ruota posteriore DX "F257776_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W20	10	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sul lato SX della porta centrale "F257773_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10

W17 + W20	11	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sopra la porta centrale "F257773_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
-----------	----	---	----

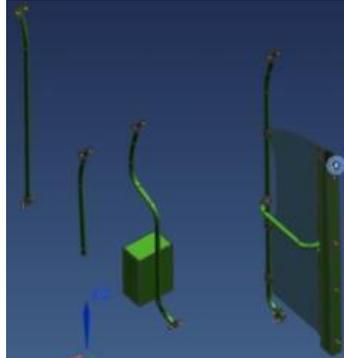


Figura 55. Mancorrenti posteriori.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W17 + W20	12	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sul lato DX della porta centrale "F257775_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W20	13	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sopra la ruota DX anteriore "F257793_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W20	14	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore DX sopra la porta anteriore "F257772_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W17 + W19	15	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257780_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W19".	10
W17 + W19	16	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257774_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W19".	10
W17 + W19	17	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257779_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W19".	10
W17 + W19	18	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257784_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W19".	10

Dettaglio operazioni W18 (worker 18)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W18	1	Attendere arrivo del veicolo tramite trasportatore a spintore.	2
W18	2	Prelevare ed eseguire il montaggio delle botole motore (29 viti totali). Prima di eseguire il montaggio accertarsi che tutti i componenti lato motore siano correttamente montati.	8
W18	3	Completare montaggio zona sterzatura (volante-albero telescopico).	7
W18	4	Prelevare e posizionare gli accessori standard "F245823_02.1".	10
W18	5	Prelevare ed eseguire il montaggio del cancello autista "F245482_01.1".	5
W18	6	Applicare tutte le targhette e diciture interne ed esterne.	15
W18	7	Utilizzando il manipolatore prelevare, posizionare ed eseguire il montaggio del rivestimento esterno testata posteriore" F242869_00.1".	5
W18	8	Prelevare le luci di ingombro posteriori ed utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza, posizionare sottoscocca ed eseguire montaggio e connessioni sul rivestimento testata posteriore esterno.	5
W18	9	Utilizzando il manipolatore prelevare, posizionare ed eseguire il montaggio del paraurti posteriore "F242292_00.1".	10
W18	10	Prelevare ed eseguire il montaggio dei fianchetti posteriori "F243790_00.1".	15

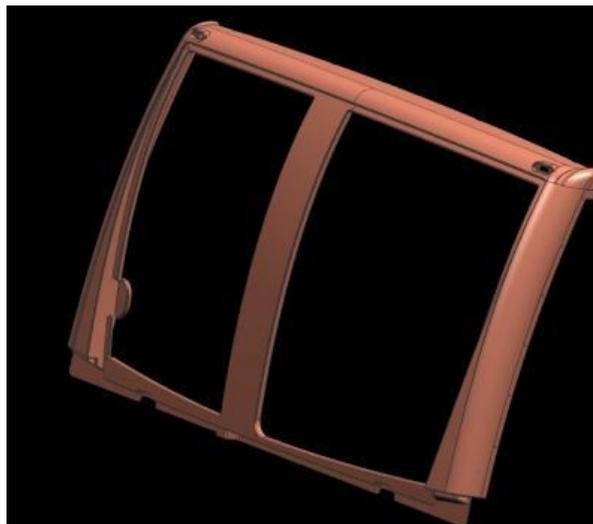


Figura 56. Rivestimento esterno testata posteriore "F242869_00.1".

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W18	11	Prelevare ed eseguire il montaggio dello sportello superiore posteriore completo "F257001_00.1".	15
W18	12	Prelevare ed eseguire il montaggio del portellone posteriore completo "F244118_00.1".	15
W18	13	Applicare l'adesivo sigillante sul lunotto posteriore "F243326_00.1" ed utilizzando il manipolatore a ventose prelevare e posizionare.	10
W18	14	Utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza, montare gli specchi retrovisori esterni "F252159".	10
W18 + W19	15	Prelevare ed eseguire il montaggio del portellone anteriore "F257261_00.1" con l'operatore "W19".	10
W18 + W20	16	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257783_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W18 + W20	17	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257782_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W18 + W20	18	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257781_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W18 + W20	19	Posizionare a bordo del veicolo il carrello con il cristallo laterale ed utilizzando il manipolatore, prelevare il cristallo laterale posteriore SX "F257780_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio con l'operatore "W20".	10
W18	20	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato DX "F248666_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	5
W18	21	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato SX "F248677_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	5



Figura 57. Specchi retrovisori.

Dettaglio operazioni W19 (worker 19)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W19	1	Attendere arrivo del veicolo tramite trasportatore a spintore.	2
W19	2	Prelevare ed eseguire il montaggio dei 5 sedili passeggeri centrali "F245012_00.1".	10
W19	3	Prelevare ed eseguire il montaggio del sedile autista tramite manipolatore "F245482_00.1".	5
W19	4	Prelevare ed eseguire il montaggio dei mancorrenti centrali "F248537_03.1" ed effettuare il collegamento dei pulsanti.	15
W19	5	Utilizzando il manipolatore, prelevare la porta completa centrale ed eseguire il posizionamento e montaggio.	15
W19	6	Prelevare ed eseguire montaggio componenti idroguida.	17
W19	7	Completare il montaggio del rivestimento fianco SX esterno "F259594_00.1".	5
W19	8	Completare il montaggio dello sportello fianco esterno SX (motore) "F250530" e applicare il fanale laterale.	15
W19	9	Prelevare le luci di ingombro anteriori ed utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza, posizionare sottoscocca ed eseguire montaggio e connessioni sul rivestimento testata posteriore esterno.	5
W19	10	Applicare l'adesivo sigillante sul parabrezza anteriore "F242198_02.1" ed utilizzando il manipolatore a ventose prelevare e posizionare.	10



Figura 58. Sedile autista.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W19	11	Prelevare e completare il montaggio delle braccia e spazzole del tergicristallo "F247658_01.1".	5
W19	12	Prelevare ed eseguire il montaggio dei fianchetti anteriori apribili completo con proiettori/luci/mostrine "F257068_02.1" ed eseguire le connessioni.	15
W19 + W18	13	Eseguire il montaggio del portellone anteriore "F257261_00.1" con l'operatore "W18".	10

W19 + W17	14	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257783_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W19 + W17	15	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257782_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W19 + W17	16	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257781_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W19 + W17	17	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257780_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W19	18	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato DX "F246679_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	10
W19	19	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato SX "F248679_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	5

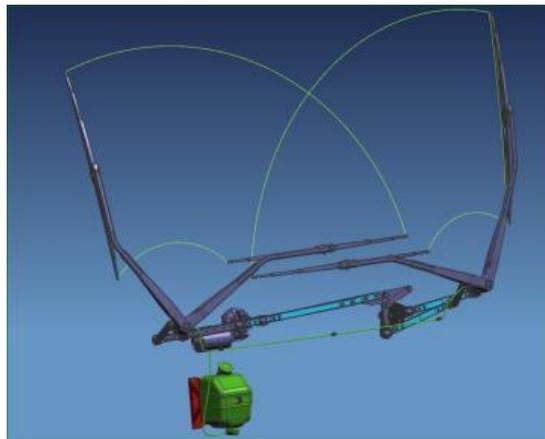


Figura 59. Impianto tergicristalli.

Dettaglio operazioni W20 (worker 20)

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W20	1	Attendere arrivo del veicolo tramite trasportatore a spintore.	2
W20	2	Prelevare ed eseguire il montaggio degli 8 sedili passeggeri anteriori "F245012_00.1".	15
W20	3	Completare i fissaggi dell'impianto alimentazione aria zona posteriore "F239794_03.1".	10
W20	4	Prelevare ed eseguire il montaggio dei mancorrenti anteriori "F248537_03.1" ed effettuare il collegamento dei pulsanti.	15
W20	5	Utilizzando il manipolatore, prelevare la porta completa anteriore ed eseguire il posizionamento e montaggio.	15

W20 + W17	6	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257778_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	7	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257777_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	8	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257776_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	9	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257773_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10

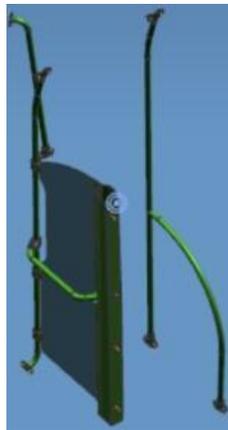


Figura 60. Mancorrenti anteriori.

<i>Operatore assegnato</i>	<i>N° Operazione</i>	<i>Descrizione Operazione</i>	<i>Tempo di esecuzione (minuti)</i>
W20 + W17	10	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257773_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	11	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257775_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	12	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257793_00" trasportato dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W17	13	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257772_00" dall'operatore "W17"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W18	14	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257780_00" trasportato dall'operatore "W18"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W18	15	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257774_00" trasportato dall'operatore "W18"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10

W20 + W18	16	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257779_00" trasportato dall'operatore "W18"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20 + W18	17	Stendere l'adesivo sigillante e attendere l'arrivo del cristallo laterale "F257784_00" trasportato dall'operatore "W18"; eseguire correttamente il centraggio e posizionamento.	10
W20	18	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato DX "F246677_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	5
W20	19	Applicare l'adesivo sigillante al profilo esterno padiglione lato SX "F248666_00" ed eseguire il posizionamento e montaggio utilizzando il cestello per eseguire i lavori in altezza.	5

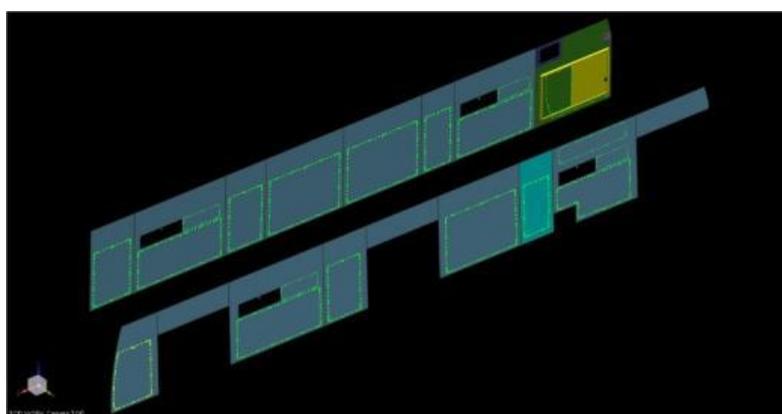


Figura 61. Cristalli laterali.

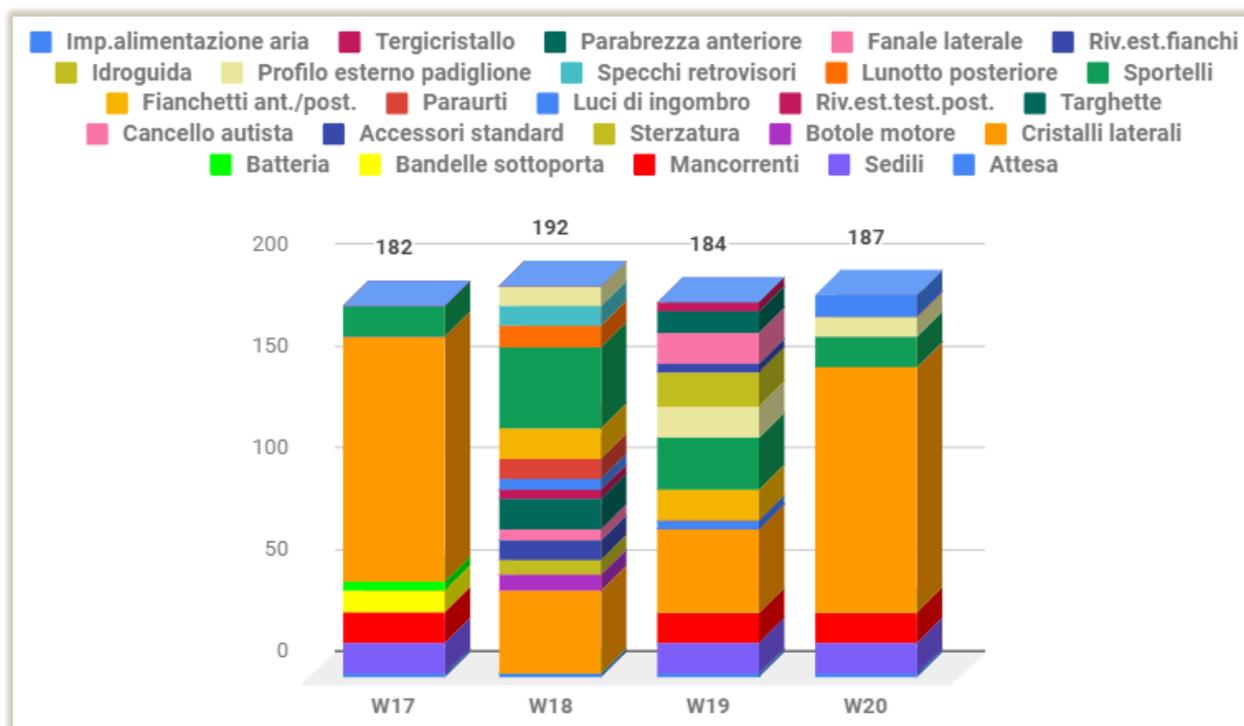


Figura 62. Macro-attività svolte dagli operatori nella quinta stazione (con tempo ciclo).

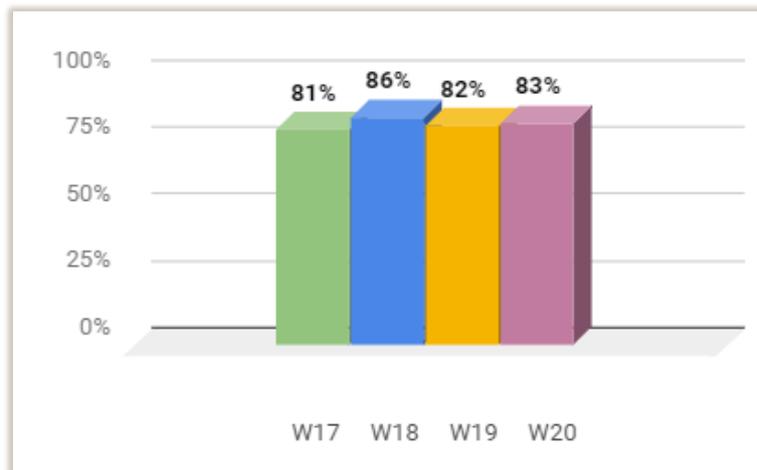


Figura 63. Saturazione percentuale degli operatori della stazione 5.

Osservando la sequenza delle operazioni fin qui descritte, ci si potrebbe chiedere come sia stato calcolato il tempo utile allo svolgimento di ogni singola operazione. La tempistica è stata calcolata prevalentemente utilizzando il metodo MTM.

MTM è l'acronimo di Methods-Time Measurement: "Misurazione del tempo in funzione del Metodo". L'idea di base del MTM è che il tempo richiesto per svolgere un compito specifico dipenda dal metodo scelto per eseguire l'attività. Rispetto al rilievo cronometrico, il sistema MTM ha il vantaggio di costringere l'utente a concentrarsi sulla fase progettuale di un prodotto-processo, non solo sulla mera misurazione del tempo impiegato per la sua esecuzione. L'analisi critica delle attività elementari condotta attraverso il sistema MTM consente all'analista di migliorare il metodo di lavoro riducendo o eliminando i movimenti non a valore. L'approccio scientifico del MTM conduce quasi automaticamente all'eliminazione dello spreco e al miglioramento per quanto riguarda: postazioni di lavoro, layout, macchinari, attrezzature ed ergonomia (Barlotti, 2016).

Questo metodo identifica i movimenti elementari che compongono un'operazione e, in base alla loro natura ed alle condizioni di lavoro, viene stabilito il tempo necessario a compierli.

Nel caso di UAS-MTM, il calcolo dei tempi base avviene tramite le tabelle (anche se, in alcuni casi, in una fase preliminare, potrebbe essere previsto un cronometraggio) e quindi tale metodologia rientra nell'ambito dei sistemi a tempi predeterminati: i tempi base di lavoro sono contenuti nelle tabelle secondo un'articolazione quantitativa che riflette in parte la difficoltà e la natura del compito, in parte il peso dell'oggetto da movimentare e in parte la tipologia di postazione di lavoro (Patacchia, 2017).

I micromovimenti elementari presi in considerazione dalle tabelle UAS-MTM sono i seguenti: prendere e piazzare; piazzare; maneggiare mezzi ausiliari; azionare; cicli di movimenti; movimenti del corpo; controllo visivo. In ragione dell'estrema parcellizzazione del processo di lavoro, il calcolo dei tempi associati a questi singoli micromovimenti elementari, si basa su una specifica unità di tempo diversa dal minuto o dal secondo denominata TMU (Time Measurement Unit), che ha un valore corrispondente a 0,036 secondi (Patacchia, 2017).

Lunghezza del movimento (cm)	<20	>20 a ≤ 50	>50 a ≤ 80
Settore di distanza	1	2	2

Micro-movimento elementare			1	2	3
PRENDERE E PIAZZARE			TMU		
≤ 1 Kg	Facile	Circa	20	35	50
		Libero	30	45	60
		Stretto	40	55	70
	Difficile	Circa	20	45	60
		Libero	30	55	70
		Stretto	40	65	80
	Manciata	Circa	40	65	80
	> 1 Kg a ≤ 8 Kg	Circa	25	45	55
		Libero	40	65	75
Stretto		50	75	85	
> 8 Kg a ≤ 22 Kg	Circa	80	105	115	
	Libero	95	120	130	
	Stretto	120	145	160	

Figura 64. Micromovimento elementare prendere e piazzare, tratto da tabella MTM-UAS. Patacchia (2017).

Il metodo MTM è stato utilizzato per le operazioni standard, ad esempio il prelievo e posizionamento delle tavole dell'elemento pavimento. Per altre procedure di montaggio invece, come quella del lunotto posteriore, sono stati cronometrati i tempi in stabilimento, con l'aiuto del responsabile tempi e metodi.

Per quanto riguarda l'ergonomia del posto di lavoro, è stato utilizzato il metodo EAWS (Ergonomic Assessment Work-Sheet).

Da un punto di vista tecnico, EAWS si presenta come una lista di controllo (checklist) dei rischi ergonomici articolata in cinque distinte sezioni ciascuna progettata per una data tipologia di carico. La checklist EAWS assegna un punteggio a ciascuna sezione della tabella dei rischi ergonomici sulla base delle caratteristiche del lavoro e della postazione di lavoro. Il calcolo del punteggio si basa sulla valutazione di due variabili controllate: l'intensità delle attività (frequenza azioni/minuto, forza applicata), e la durata delle attività (D): i valori si moltiplicano tra di loro creando il c.d. indice di rischio ergonomico. La durata delle attività è direttamente proporzionale alla durata delle azioni statiche e alla frequenza delle azioni dinamiche, mentre l'intensità è direttamente proporzionale alla scomodità della postazione, all'intensità della forza e del peso di carico. I valori delle prime quattro sezioni (0-1-2-3) si sommano per ottenere un indice di rischio ergonomico relativo al corpo intero (whole body), mentre quelli della sezione quarta (movimenti ripetitivi) sono funzionali alla valutazione dei rischi per gli arti superiori. La determinazione dell'indice di rischio finale viene effettuata mediante la scelta del valore più elevato tra la somma dei valori delle prime quattro sezioni e il valore ottenuto nella sezione quarta (movimenti ripetitivi). Patacchia (2017).

Sezione	Fattori di rischio
Sez. 0	Fattori "extra": presenza di vibrazioni, utilizzo di martelli ecc.
Sez. 1	Postura. Analizza le tipologie di posture statiche (con durata maggiore di 4 secondi) assunte durante lavoro: la posizione del lavoratore (in piedi - seduto - in ginocchio), le posture del tronco (flessione, rotazione ecc.), la posizione delle braccia (braccia sollevate ecc.)
Sez. 2	Forza: analizza il livello di forza applicato durante il lavoro prendendo a riferimento come unità di misura il Newton
Sez. 3	Movimentazione manuale dei carichi: analizza i rischi per la colonna vertebrale nelle attività con movimentazione di oggetti con peso maggiore di 3 kg
Sez. 4	Movimenti ripetitivi degli arti superiori: analizza i rischi per i segmenti articolari delle braccia

Figura 65. Scheda EAWS. Patacchia (2017).

2.4. Area Logistica

Al fine di rispettare i tempi di montaggio e ridurre i tempi «a non valore aggiunto» è opportuno prevedere un'area kitting adiacente al magazzino per la preparazione dei contenitori specifici per i KIT.

L'analisi effettuata parte dalla PFEP (Plan For Every Part) per l'analisi dei buy, dei contenitori e dell'area di magazzino necessaria al loro stoccaggio. Per ogni elemento, sono state ricercate le dimensioni in x, y e z, al fine di comprendere l'effettivo ingombro del pezzo.

CODICE ELEMENTO	DESCRIZIONE ELEMENTO	BASE ELEMENTO (mm)	LATO ELEMENTO (mm)	ALTEZZA ELEMENTO (mm)
F239791	BOMBOLA SERVIZI AUSILIARI	212	1175	55
F258599	PEDANA A RIBALTA	1370	848	165
F245570	CARTELLO INDICATORE LATERALE	341	668	165
F245569	CARTELLO INDICATORE POSTERIORE	670	370	462
F245464	PRESA ARIA AUTISTA COMPLETA	322	465	338
F239844	CASSA BATTERIA COMPLETA	630	630	321
F257982	IMPIANTO UREA	660	290	640
F245844	BOTOLE	660	377	44

Figura 66. Dimensioni degli elementi, tratte da PFEP.

2.4.1. Assegnazione degli elementi ai contenitori

Per quanto riguarda l'assegnazione degli elementi ai contenitori, sono stati presi in considerazione i contenitori disponibili in stabilimento (evidenziati in giallo), e altri contenitori in base a dimensioni ritenute opportune. Attraverso un calcolo di congruenza delle dimensioni, sono stati assegnati gli elementi ai rispettivi contenitori. Per gli elementi che non hanno a disposizione dei contenitori adatti, è stato considerato l'utilizzo di un contenitore speciale. Per le odette è stato utilizzato il contenitore con codice 4900. In quest'ultimo oggetto verranno posizionati piccoli elementi come, ad esempio, i bulloni e le rondelle.

Contenitori	Lunghezza	Largezza	Altezza
4030	980	820	500
4070	1100	725	780
4060	1450	1100	750
4201	1200	1000	975
4204	1600	1200	750
4790	2000	1200	780
4780	2400	1200	1100
0			SPECIALE
Odette	Base	Lato	H
4930	400	300	220
4910	600	400	220
4900	600	400	320

Figura 67. Dimensioni dei contenitori, tratte da PFEP.

2.4.2. Numero di contenitori necessari

La capacità del contenitore è stata ricavata attraverso un calcolo di conformità dei volumi, secondo il seguente criterio.

$$\text{Capacità MDR (mezzo di raccolta)} = \frac{\text{Volume MDR}}{\text{Volume pezzo} * 1,3}$$

Il volume del pezzo è quindi considerato maggiorato del 30% per assicurare un'analisi conservativa.

Per quanto riguarda la capacità del magazzino, l'analisi prende come riferimento di input uno stock pari a 20 giorni di produzione per gli elementi nei contenitori previsti e 5 giorni per gli elementi nei contenitori speciali, a cui si va a sommare un 20% di stock di sicurezza.

Relativamente alle odette, il pallet è considerato come segue: 1200x800x1000 (altezza circa 1 m). Dato che le odette sono di tipo 4900, (le dimensioni saranno 600x400x320) in ogni piano di un pallet saranno allocabili 4 odette. Utilizzando 3 piani, saranno disponibili 12 odette a magazzino.

	1200	
800	600	600
400	1	2
400	3	4

Figura 68. Odette allocabili in ogni piano.

A seconda della capacità dei contenitori e dell'assorbimento degli elementi per vettura, è stato calcolato il numero di contenitori necessari in magazzino. Ad esempio, è richiesta in magazzino una quantità di 80 pezzi dell'elemento F239784, creando quindi la necessità di avere 10 MDR utili al contenimento di questo prodotto.

Codice elemento	Volume MDR (m³)	Volume pezzo (m³)	Stazione	Operatore	Pezzi necessari in 20gg	NUMERO MDR NECESSARI
F239784	0.62205	0.05602685	1	1	80	10
F239771	1.44	0.077343112	1	1	40	3
F248795	4.440202284	4.440202284	1	2	10	10
F243334	1.63137	1.63137	1	2	10	10
F257625	1.17	0.0032544	1	3	40	1

Figura 69. MDR necessari, tratto da PFEP.

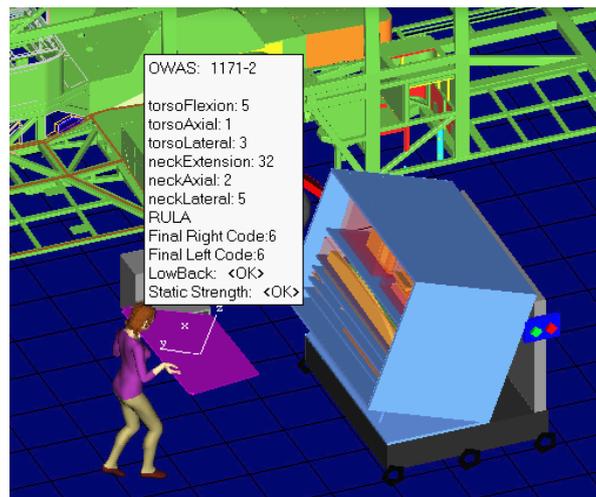


Figura 70. Prelievo da contenitore.

2.4.3. Stima del numero di scaffali necessari

Al fine di calcolare il numero di scaffali necessari, sono stati considerati scaffali con una lunghezza pari a 20 metri, profondità e altezza rispettivamente uguali a 1 e 6 metri.

In base ai volumi e al numero di contenitori necessari stimati, è stato calcolato il numero di scaffali necessari allo stoccaggio degli elementi per garantire il target di stock. A seguito delle considerazioni fatte sono necessari 15 scaffali.

Volume scaffale	120
Volume necessario	1483.59
Scaffali (con SS 20%)	15

Figura 71. Calcolo scaffali necessari, tratto da PFEP.

2.5. Simulazione ad eventi discreti

2.5.1. Basi per la creazione del modello

Dopo aver stabilito la sequenza di montaggio ed i tempi statici, nonché il numero di contenitori necessari e la composizione di specifici kit posizionati a bordo linea, è possibile procedere con la simulazione ad eventi discreti per poter verificare se i tempi di movimentazione fissi sono uguali a quelli calcolati dal programma in base agli spostamenti effettuati dall'operatore durante la fase di montaggio.

In particolare, la simulazione ad eventi discreti prevede la rappresentazione cronologica degli stati attraverso cui il sistema evolve durante un determinato orizzonte di tempo. Il sistema è suddiviso in elementi a vita indipendente (entità), dotati di particolari caratteristiche (attributi) ed interagenti secondo determinate relazioni allo scopo di svolgere attività (assoggettate a vincoli) che generano eventi in grado di cambiare lo stato dello stesso sistema (Gattuso& Cassone, 2013).

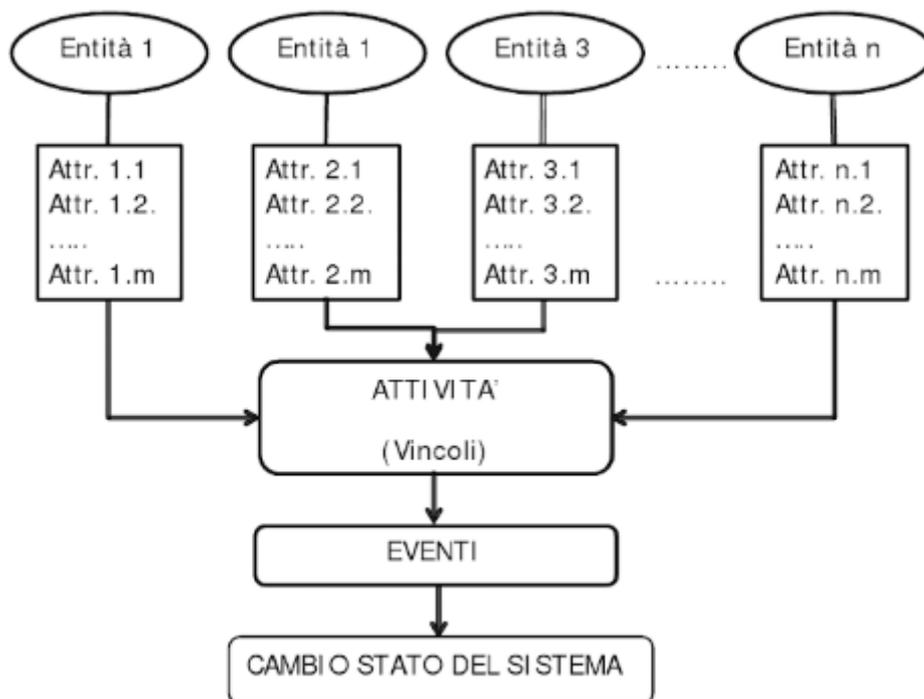


Figura 72. Simulazione ad eventi discreti. (Gattuso& Cassone, 2013).

Il programma consente di creare differenti oggetti che, collaborando tra loro, simulano il comportamento della linea di montaggio.

I principali oggetti creati saranno source, singleproc, assembly, workplace, worker, broker, drain.

Usando source e drain, puoi modellare i limiti del sistema del tuo modello. La source di un sistema rappresenta l'alimentazione del sistema con MU (entità, container e trasportatore). Il drain prende tutte le MU e le distrugge. Impedisce che il flusso di materiale si accumuli nel sistema e può eseguire, ad esempio, la misurazione del throughput dell'intero sistema (Bangsow, 2015).

L'oggetto [singleproc] riceve una MU, la conserva durante il tempo di elaborazione e quindi tenta di trasmetterla [all'elemento successivo]. Ad esempio, una macchina con capacità 1 (Mes, 2017).

L'elemento assembly, come si intuisce dalla parola, permette operazioni di montaggio su di una parte.

È anche possibile in Tecnomatix[®] Plant Simulation utilizzare i lavoratori [(worker)], che possono rappresentare i dipendenti, i quali svolgono compiti, possono essere assegnati a diversi luoghi di lavoro e passare da un posto di lavoro all'altro, eventualmente richiedendo un certo tempo di trasporto (Mes, 2017).

In seguito, verranno descritti gli oggetti utili a simulare i movimenti del lavoratore all'interno del programma di simulazione.

Worker: un lavoratore che svolge un lavoro su una workplace (Mes, 2017).

Workplace: il punto attuale della stazione in cui il lavoratore svolge le sue attività (Mes, 2017).

WorkerPool: i worker vengono creati nell'oggetto workerpool e rimangono in questo oggetto quando non ci sono lavori da eseguire (Mes, 2017).

Broker: l'oggetto Broker è l'intermediario tra gli oggetti che richiedono un servizio e gli oggetti che forniscono quel servizio (Mes, 2017).

Per la realizzazione del modello fin qui descritto, è necessaria la creazione delle 5 stazioni e degli operatori ad esse collegati. In base all'operazione da svolgere verranno creati due tipi di strutture diverse. Se l'operazione contiene attività di prelievo da cassone, verrà utilizzata una struttura composta da due source, due singleproc, un assembly, un drain, un operatore ed i connettori necessari.

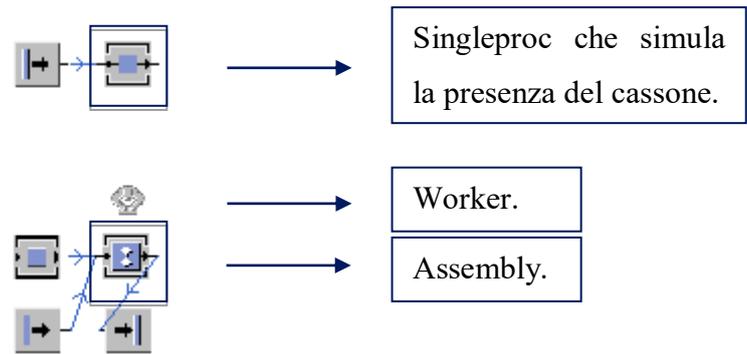


Figura 73. Struttura di un'operazione con prelievo da cassone.

In questo tipo di struttura, il lavoratore parte dalla workerpool e va a prelevare il pezzo dalla singleproc (cassone). In seguito, trasferisce la parte sulla seconda singleproc e poi sull'assembly ed inizia la fase di montaggio. Il tempo di montaggio è definito all'interno dell'assembly. A fine lavorazione il lavoratore può restare in postazione oppure tornare alla workerpool.

Se invece l'operazione non richiede prelievo da cassone (ad esempio le fasi di stesura della colla oppure la movimentazione tramite carroponete), la struttura è davvero elementare. È sufficiente utilizzare source, singleproc, drain ed i connettori necessari.

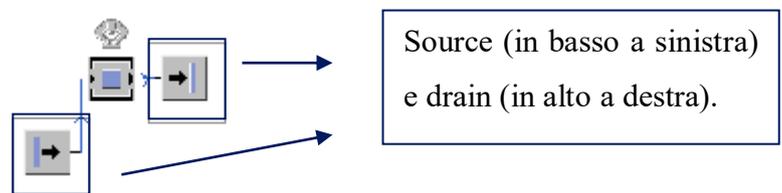


Figura 74. Struttura di un'operazione senza prelievo da cassone.

In quest'ultimo tipo di struttura, il lavoratore parte dalla workerpool per raggiungere la sua postazione di lavoro sulla singleproc. Il tempo di lavoro è definito all'interno della singleproc. Una volta terminata la lavorazione, l'operatore può tornare alla workerpool o restare in postazione.

2.5.2. Metodi

Definite le strutture fondamentali, è possibile procedere con la creazione delle stesse. Se si dovesse implementare una breve sequenza di lavorazioni con pochi operatori, sarebbe possibile creare le strutture descritte manualmente, inserendo per ognuna gli attributi necessari. Per l'implementazione dell'area di montaggio in questione, servirebbero 384 strutture, ognuna composta da uno dei due

tipi illustrati in precedenza. Pertanto, verranno utilizzati dei metodi, chiamati crea, ognuno dei quali utile alla creazione delle strutture necessarie a rappresentare le operazioni di un determinato operatore. Verrà mostrato il metodo di creazione delle operazioni dell'operatore 1 della stazione 1.

Anche i metodi che verranno citati successivamente apparterranno all'operatore 1 della stazione 1.

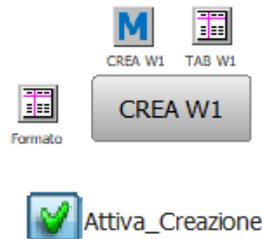


Figura 75. Oggetti necessari per la creazione della sequenza di operazioni dell'operatore 1 della stazione 1.

Come si può notare dalla figura, per creare il tutto, è necessario utilizzare un oggetto di tipo metodo (contrassegnato dalla lettera m nell'immagine), due tabelle ed il bottone che, se premuto, avvia il metodo. Inoltre, è stato utilizzato un checkbox che deve essere selezionato per attivare la creazione.

Prima di proseguire con il metodo, è doveroso specificare che ogni elemento delle strutture che verranno create, ha un nome univoco e definito secondo uno standard.

Viene fornita come esempio la denominazione degli elementi appartenenti alla sequenza di operazioni dell'operatore 1 della stazione 1.

Le source della fase 1 della struttura semplice oppure della struttura con cassone (ovviamente solo un tipo di struttura può essere presente) saranno definite come SST1_W1_F1.

Le source della fase 1 che precedono l'assembly sono invece definite come SST1_W1_F1_R.

Le singleproc della fase 1 della struttura semplice o della struttura con cassone (sono intese solo le singleproc collegate con l'assembly) saranno definite come ST1_W1_F1.

Le singleproc precedute dalla source della struttura con cassone saranno definite come ST1_W1_F1C.

Gli assembly saranno definiti come ST1_W1_F1_R.

I drain della fase 1 saranno definiti come DST1_W1_F1.

La tabella SW1 contiene nella prima colonna i dati relativi alle source della sequenza di operazioni dell'operatore 1 della stazione 1, mentre nella seconda i tempi di processo da inserire nell'assembly nella struttura con cassone o, in quella semplice, nella singleproc.

Tornando al metodo, è ora possibile illustrare e commentare le sue parti fondamentali.

```
is
nome_source,nome_sp,nomeinter,nome_as,nome_sc,nome_ca,nome_dr,nome_wpc,nome_wpa,nome_wps,a,b,c,d,e,f,g:string;
source,sp,as,sc,ca,dr,wpc,wpa,wps:object;
service: table;
contac:integer;

do
contac:=0;
if attiva_creazione.value = true then
  for local i:=1 to SW1.Ydim loop

    nome_source:=SW1[1,i];
    .MaterialFlow.SourceW1.createObject(self.location, (i*120-40),(i+200+900),nome_source);
    source:=str_to_obj(nome_source);
    source.ExitCtrl:="Discr_fase";
    service.create;
    service.setformatdata(formatoService);
```

Figura 76. Metodo crea (1).

Una volta dichiarate le variabili necessarie, il programma verifica che il checkbox sia stato selezionato. Dopodiché, all'interno di un ciclo for, assegna il valore della prima colonna e riga i, presente nella tabella SW1, (che ha come label TAB W1, come in figura 75) alla variabile di tipo stringa nome_source. Viene poi creato un oggetto della classe SourceW1 in una determinata posizione, chiamato con il nome tratto da nome_source. Viene impostato come controllo in uscita il metodo Discr_fase, che verrà trattato in seguito. Infine, viene creata la tabella service e viene impostato il formato dei dati uguale a quello della tabella formatoService (con etichetta Formato in figura 75).

```
nome_as:=copy(SW1[1,i],2,strlen(SW1[1,i]));
a:=nome_as;
.MaterialFlow.assembly.createObject(self.location, (i*120+20),(i+150+900),a);
as:=str_to_obj(a);
as.ExitCtrl:="fase_successiva";
as.importeractive:=true;
as.proctime:=SW1[2,i]*60;

service[1,1]:="W1";
service[2,1]:=1;

as.imp.setservices(service);
as.imp.brokerpath:="BrokerST1";
```

Figura 77. Metodo crea (2).

In questa seconda parte del metodo crea, viene generato l'assembly. Nella prima riga viene copiato il contenuto della prima colonna e riga i della tabella SW1, omettendo la prima lettera, nella stringa nome_as. Successivamente viene creato l'assembly, con procedimento analogo a quello della source. Il controllo in uscita è rappresentato questa volta dal metodo fase_successiva, che verrà spiegato dettagliatamente in seguito. Dopodiché, viene attivato l'importer ed assegnato il tempo di processo all'assembly, moltiplicato per 60 al fine di ottenere il valore in secondi. Nella parte seguente vengono assegnati l'operatore W1 ed il broker BrokerST1 all'elemento creato.

```
nome_sp:=copy(nome_as,1,strlen(SW1[1,i])-3);  
.MaterialFlow.SingleProc.createobject(self.location, (i*120-40),(i+150+900),nome_sp);  
sp:=str_to_obj(nome_sp);  
sp.proctime:=0;  
  
sp.importeractive:=true;  
service[1,1]:="W1";  
service[2,1]:=1;  
sp.imp.setservices(service);  
sp.imp.brokerpath:="BrokerST1";  
.MaterialFlow.connector.connect(source,as);  
  
.MaterialFlow.connector.connect(sp,as);
```

Figura 78. Metodo crea (3).

Questa parte di codice è utile alla creazione delle singleproc della struttura con prelievo da contenitore (che precedono l'assembly). Partendo dal nome dell'assembly, vengono tolti gli ultimi 3 elementi della stringa (_R"), per creare così l'elemento in questione. Dopodiché, il procedimento è simile a quelli visti in precedenza, tranne per l'aggiunta dei connettori che collegano source e singleproc all'assembly.

```
nome_sc:=nome_sp;
c:=incl("S",nome_sc,1);
.MaterialFlow.SourceW1.createobject(self.location, (i*120),(i*1+20+900),c);
sc:=str_to_obj(c);
sc.ExitCtrl:="Discr_fase";
nome_ca:=nome_sp;
b:=incl(nome_ca,"C",1);
--contac:=;
.MaterialFlow.SingleProc.createobject(self.location, (i*120+40),(i*1+20+900),b);

ca:=str_to_obj(b);
ca.exitstrategy:="Carry Part Away";
ca.MuTarget:=sp;
ca.transportimp.brokerpath:="BrokerST1";
CA.proctime:=0;
service[1,1]="W1";
service[2,1]=1;
ca.transportimp.setservices(service);
.MaterialFlow.connector.connect(sc,ca);

nome_dr:=nome_sp;
d:=incl("D",nome_dr,1);
.MaterialFlow.Drain.createobject(self.location, (i*120+20),(i*1+200+900),d);
dr:=str_to_obj(d);

.MaterialFlow.connector.connect(as,dr);
```

Figura 79. Metodo crea (4).

In questa parte di codice verranno create la source della struttura con cassone e la singleproc che le succede. Per creare la source è sufficiente partire dalla singleproc che precede l'assembly ed aggiungere la lettera S, mentre per la singleproc si utilizza sempre la stringa nome_sp ma aggiungendo la lettera C al finale. La strategia d'uscita impostata per la singleproc che funge da cassone è Carry Part Away, che permette di prelevare il pezzo e trasportarlo nella destinazione definita da MuTarget. In questo caso il pezzo viene trasportato sulla singleproc che precede l'assembly. Per il drain il procedimento è analogo; si aggiunge la lettera D al principio di nome_sp.

```
nome_wpc:=nome_sp;
e:=incl("O",nome_wpc+"C",1);
.Resources.Workplace.createobject(self.location, (500+contac*100),(80+900),e);
wpc:=str_to_obj(e);

wpc.Station:=nome_sp+"C";
wpc.loadingtime:=30;

service[1,1]="W1";
service[2,1]=1;
local z : string[] := makeArray("W1");

wpc.supportedservices:=z;
```

Figura 80. Metodo crea (5).

In questa parte di codice verrà creato l'oggetto workplace relativo al contenitore. Come gli elementi menzionati prima, anche la workplace ha una denominazione standard. Seguendo l'esempio di prima, l'operatore 1 che lavora alla fase 1 della stazione 1, sarebbe chiamato OST1_W1_F1C. Quindi, per ottenere il nome di questo elemento e crearlo, è sufficiente aggiungere la lettera O all'inizio di nome_sp e la lettera C alla sua fine. Successivamente la workplace viene assegnata ad una postazione, in questo caso il cassone. Convertendo la stringa W1 in array ed assegnandola alla variabile locale z, è possibile inserire W1 come operatore abilitato a lavorare nella postazione.

```
nome_wpa:=nome_sp;
f:=incl("O",nome_wpa+"_R",1);
.Resources.Workplace.createobject(self.location, (250),(250+900),f);
wpa:=str_to_obj(f);
wpa.Station:=nome_sp+"_R";

service[1,1]:="W1";
service[2,1]:=1;
local p : string[] := makeArray("W1");
wpa.supportedservices:=p;

nome_wps:=nome_sp;
g:=incl("O",nome_wps,1);
.Resources.Workplace.createobject(self.location, (250),(250+900),g);
wps:=str_to_obj(g);
wps.Station:=nome_sp;

service[1,1]:="W1";
service[2,1]:=1;
local q : string[] := makeArray("W1");
wps.supportedservices:=q;
```

Figura 81. Metodo crea (6).

Nel metodo crea (6) verranno creati gli oggetti workplace relativi ad assembly e singleproc (che precede l'assembly). Il procedimento è analogo a quello visto nella parte di codice precedente: per la workplace relativa all'assembly viene aggiunta la lettera O al principio e "_R" alla fine del contenuto della stringa nome_sp; per la postazione relativa alla singleproc invece viene solamente aggiunta la lettera O all'inizio di nome_sp.

```
if i=sw1.ydim then
    sp.createattr("FineCiclo","method");
    ref(sp.FineCiclo).program:=" ?.MU.MOVE;";
    sp.ExitCtrl:="self.FineCiclo";
end;
```

Figura 82. Metodo crea (7).

Questa parte di codice verifica se il ciclo for ha letto l'ultima riga della tabella contenente dati. Se è così, crea il metodo FineCiclo e lo imposta come controllo in uscita nell'assembly (o singleproc, come illustrato nella figura 83) che rappresenta l'ultima fase della sequenza di operazioni di un determinato lavoratore (in questo caso worker 1). Il metodo contiene il comando “?.MU.MOVE”, che consente di spostare il veicolo alla stazione successiva.

La parte di codice relativa alla creazione di singleproc, drain e workplace relativo alla singleproc della struttura semplice è stata omessa in quanto contiene procedimenti molto simili a quelli illustrati in precedenza.

W10

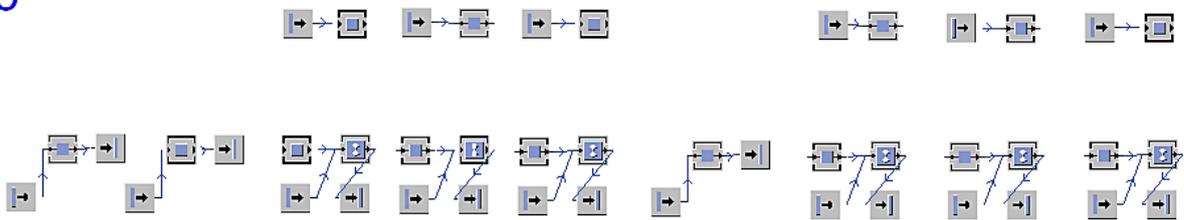


Figura 83. Operazioni del lavoratore W10 della stazione 3, create dal metodo.

Così come sono state create le operazioni dell'operatore 1 della stazione 1, è possibile creare sia quelle degli altri operatori della stazione che quelle delle altre stazioni.

Una volta create le stazioni, è possibile verificare se il processo eseguito ha avuto esito positivo. Per effettuare questo controllo è possibile utilizzare un metodo, in questo caso chiamato compila, che racchiude in tabelle i dati chiave di ogni elemento creato.

```
is
i, j:integer;
do
  Dati_source.delete;
  Dati_singleproc.delete;
  Dati_assembly.delete;
  Dati_workers.delete;
  --for j:=1 to 10 loop
  for i := 1 to self.location.NumNodes loop
    if self.location.node(i).class.name="Source" or self.location.node(i).class.name="Source1"
    or self.location.node(i).class.name="Source2" or self.location.node(i).class.name="Source4"
    or self.location.node(i).class.name="SourceW2" or self.location.node(i).class.name="SourceW3"
    or self.location.node(i).class.name="SourceW4" or self.location.node(i).class.name="SourceW1" then
      Dati_source[1, Dati_source.Ydim+1]:=self.location.node(i).class.name;
      Dati_source[2, Dati_source.Ydim]:=self.location.node(i).name;
      Dati_source[3, Dati_source.Ydim]:=sprintf(self.location.name , ".", self.location.node(i).name);
```

Figura 84. Metodo compila (1).

In questa prima parte del metodo, viene eliminato il contenuto delle tabelle utilizzate per ogni tipo di elemento. Successivamente, all'interno del ciclo for, si procede al riempimento delle tabelle. Per le source, viene verificato se la classe dell'oggetto appartiene a quella delle source e vengono salvati in tre colonne, dentro la tabella Dati_source, il nome della classe, quello dell'oggetto e il nome della stazione di appartenenza aggiunto al nome dell'oggetto con un punto di separazione.

```
if self.location.node(i).class.name="SingleProc" then

    Dati_singleproc[1, Dati_singleproc.Ydim+1]:=self.location.node(i).class.name;
    Dati_singleproc[2, Dati_singleproc.Ydim]:=self.location.node(i).name;
    Dati_singleproc[3, Dati_singleproc.Ydim]:=self.location.node(i).label;
    Dati_singleproc[5, Dati_singleproc.Ydim]:=num_to_str(self.location.node(i).proctime);

    if self.location.node(i).numpred>0 then
        Dati_singleproc[6, Dati_singleproc.Ydim]:=self.location.node(i).pred.name;
    end;

    if self.location.node(i).numsucc>0 then
        Dati_singleproc[7, Dati_singleproc.Ydim]:=self.location.node(i).succ.name;
    end;

    if self.location.node(i).exitstrategy="Carry Part Away" then
        Dati_singleproc[4, Dati_singleproc.Ydim]:=obj_to_str(self.location.node(i).mutarget);
    end;

end;
```

Figura 85. Metodo compila (2).

Nella seconda parte del metodo compila vengono salvati i dati relativi alle singleproc, ossia nome della classe e dell'oggetto, tempo di processo convertito in stringa (la tabella Dati_singleproc è una tabella di stringhe, quindi è necessario convertire il dato numerico). Inoltre, viene verificato se l'oggetto ha predecessori o successori, che in caso positivo vengono inseriti nella tabella. Infine, verifica se è presente una strategia in uscita di tipo Carry Part Away, e salva nella tabella il nome dell'oggetto che riceverà il pezzo uscente.

```
if self.location.node(i).class.name="Assembly" then
  Dati_assembly[1, Dati_assembly.Ydim+1]:=self.location.node(i).class.name;
  Dati_assembly[2, Dati_assembly.Ydim]:=self.location.node(i).name;
  Dati_assembly[3, Dati_assembly.Ydim]:=self.location.node(i).label;
  Dati_assembly[4, Dati_assembly.Ydim]:=num_to_str(self.location.node(i).proctime);

  if self.location.node(i).numpred>0 then
    Dati_assembly[5, Dati_assembly.Ydim]:=self.location.node(i).pred.name;
  end;

else
  if self.location.node(i).class.name="Workplace" then
    Dati_workers[1, Dati_workers.Ydim+1]:=self.location.node(i).class.name;
    Dati_workers[2, Dati_workers.Ydim]:=self.location.node(i).name;
    Dati_workers[3, Dati_workers.Ydim]:=obj_to_str(self.location.node(i).station);
    Dati_workers[4, Dati_workers.Ydim]:=num_to_str(self.location.node(i).loadingtime);
  end;
end;
```

Figura 86. Metodo compila (3).

In questa parte del metodo vengono salvati in tabelle i dati relativi ad assembly e workplace, con procedimento analogo a quello visto in precedenza. Nella workplace vengono inseriti oltre al nome della classe e dell'oggetto, la stazione di appartenenza e il tempo di prelievo del pezzo (se presente).

Una volta verificata la corretta esecuzione del metodo e la conseguente creazione delle stazioni, è necessario creare il codice del metodo fase_successiva, visto in precedenza durante la creazione delle strutture. Questo metodo permette il passaggio da un'operazione alla successiva, fino al termine della sequenza.

```
is
  i, somma, faseabbinata:integer;
  w1_ulti, w2_ulti, w3_ulti, w4_ulti: object;
  w1_ultis, w2_ultis, w3_ultis, w4_ultis: object;
  fine: boolean;
  WABBINATA: object;
do
  IF ?.label="FASE 1" or @.class.name="veicolo" then
    tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus][2,W1_N_FASE]:=root.eventcontroller.simtime;
    tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus]["TEMPO FASE W1",W1_N_FASE]:=(tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus][2,W1_N_FASE]-
tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus][1,W1_N_FASE] )/60;
    W1_N_FASE:=W1_N_FASE+1;
    w1_ulti:=str_to_obj(sprint(?.location.name, "_w1_F", ultima_op_w1));
    w2_ulti:=str_to_obj(sprint(?.location.name, "_w2_F", ultima_op_w2));
    w3_ulti:=str_to_obj(sprint(?.location.name, "_w3_F", ultima_op_w3));
    w4_ulti:=str_to_obj(sprint(?.location.name, "_w4_F", ultima_op_w4));

    w1_ultis:=w1_ulti.succ;
    w2_ultis:=w2_ulti.succ;
    w3_ultis:=w3_ulti.succ;
    w4_ultis:=w4_ulti.succ;
```

Figura 87. Metodo fase_successiva (1).

In questa prima parte del metodo, viene verificato inizialmente che l'oggetto su cui si sta lavorando sia quello su cui deve agire il metodo (in questo caso l'oggetto veicolo). Successivamente viene

registrato il tempo di simulazione alla fine della fase, a cui si sottrae nella riga sottostante il tempo di inizio della fase, per ottenere il tempo effettivo di esecuzione della fase. Dopodiché, si passa alla fase successiva e si assegna il contenuto della stringa (convertita in oggetto e contenente nome della stazione, nome del lavoratore e numero dell'ultima fase) ad una variabile denominata con il nome dell'operatore seguito da “_ulti”. Infine, si assegna alla variabile con nome operatore seguito da “_ultis”, il successore di nome operatore “_ulti”.

```
WAITuntil W1_N_FASE=ultima_op_w1 AND W2_N_FASE=ultima_op_w2 and W3_N_FASE=ultima_op_w3 AND W4_N_FASE=ultima_op_w4
and (w1_ulti.nummu+w1_ultis.nummu+w2_ulti.nummu+w2_ultis.nummu+w3_ulti.nummu+w3_ultis.nummu+w4_ulti.nummu+w4_ultis.nummu=0)PRIO 1;

tempiciclo["TOT TEMPI FASE W1 [MIN]", id_bus]:=tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus].SUM({"TEMPO FASE W1", 1}..{"TEMPO FASE W1", w1_N_FASE});
tempiciclo["TEMPO MOVIMENTI W1", id_bus]:=tempiciclo["TOT TEMPI FASE W1 [MIN]", id_bus]-t[1,1];

tempiciclo["TOT TEMPI FASE W2 [MIN]", id_bus]:=tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus].SUM({"TEMPO FASE W2", 1}..{"TEMPO FASE W2", w2_N_FASE});
tempiciclo["TEMPO MOVIMENTI W2", id_bus]:=tempiciclo["TOT TEMPI FASE W2 [MIN]", id_bus]-t[1,2];

tempiciclo["TOT TEMPI FASE W3 [MIN]", id_bus]:=tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus].SUM({"TEMPO FASE W3", 1}..{"TEMPO FASE W3", w3_N_FASE});
tempiciclo["TEMPO MOVIMENTI W3", id_bus]:=tempiciclo["TOT TEMPI FASE W3 [MIN]", id_bus]-t[1,3];

tempiciclo["TOT TEMPI FASE W4 [MIN]", id_bus]:=tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus].SUM({"TEMPO FASE W4", 1}..{"TEMPO FASE W4", w4_N_FASE});
tempiciclo["TEMPO MOVIMENTI W4", id_bus]:=tempiciclo["TOT TEMPI FASE W4 [MIN]", id_bus]-t[1,4];

tempiciclo[2,id_BUS]:=EVENTController.simtime;
tempiciclo[3,id_BUS]:=(tempiciclo[2,id_BUS]-tempiciclo[1,id_BUS])/60;
id_BUS:=id_BUS+1;
```

Figura 88. Metodo fase_successiva (2).

In questa seconda parte del metodo, viene effettuato un controllo attraverso l'uso dell'istruzione WAITUntil, che attende finché la lavorazione di ogni sequenza di operazioni dei 4 operatori sia l'ultima e non ci siano più pezzi in lavorazione (nummu=0). Dopodiché, per ogni operatore, calcola il totale dei tempi delle fasi di ogni operazione, a cui vengono poi sottratti nella riga successiva i tempi statici delle operazioni (come definiti da macro-ciclo) presenti nella tabella t per ottenere il tempo di movimentazione dell'operatore.

```
tempiciclo[2,id_BUS]:=EVENTController.simtime;
tempiciclo[3,id_BUS]:=(tempiciclo[2,id_BUS]-tempiciclo[1,id_BUS])/60;
id_BUS:=id_BUS+1;

-----
W1_N_FASE:=1;
W2_N_FASE:=1;
W3_N_FASE:=1;
W4_N_FASE:=1;
?.mu.move;
```

Figura 89. Metodo fase_successiva (3).

A questo punto, viene registrato in tabella il tempo totale di simulazione. Nella riga successiva si sottrae al suddetto tempo, il tempo in cui il mezzo è arrivato in stazione, ottenendo così il tempo di lavorazione del veicolo nella stazione. Dopodiché, si incrementa l'id del veicolo, le fasi vengono riportate a quella iniziale, e il veicolo viene movimentato verso la stazione successiva.

Si può procedere ora alla creazione del metodo Discr_fase, che permette lo svolgimento in simultanea delle fasi svolte grazie alla collaborazione di 2 o più operatori.

```
is
  wabbinata: object;
  faseabbinata, fase : integer;
  tfase: table;
do
  if ?.succ/= void then
    local st:object;
    st:=str_to_obj( sprintf(?.location.name, "_W1_F1"));
    if(?.location.name/="ST1") then
      waituntil st.numMu>0 prio 1;
    end;

    waituntil ?.pezzi_fase = FALSE prio 1;
    ?.pezzi_fase:=TRUE;
    fase:=str_to_num(copy(?.name, strRpos("F", ?.name)+1, strlen(?.name)));
    IF ST=? THEN
      FASE:=1;
    END;
  end;
end;
```

Figura 90. Metodo Discr_fase (1).

In questa prima parte del codice si verifica se esiste un elemento che succede quello attuale; dopodiché verifica se la stazione attuale è diversa dalla stazione 1. Se ciò è vero, è necessario attendere che la MU che rappresenta il mezzo arrivi in stazione. In seguito, viene ricavato il numero della fase, prendendo la porzione di stringa contenente il nome dell'oggetto attuale (partendo dal valore successivo alla lettera F) e convertendolo in numero.

```
waituntil w1_N_FASE = fase prio 1;
IF tempiciclo["TEMPI FASE", id_bus]= VOID THEN
  if w1_N_FASE= 1 then

    tfase.create;
    tfase.setformatdata(.informationFlow.tableFile);
    tempiciclo[1, id_bus]:=root.EVENTController.simtime;
    tempiciclo[4, id_bus]:=tfase;

    tempiciclo[4, id_bus][1,1]:=root.EVENTController.simtime;
    tempiciclo[4, id_bus][4,1]:=root.EVENTController.simtime;
    tempiciclo[4, id_bus][7,1]:=root.EVENTController.simtime;
    tempiciclo[4, id_bus][10,1]:=root.EVENTController.simtime;
  end;
end;
```

Figura 91. Metodo Discr_fase (2).

In questa porzione di codice, viene creata la tabella tfase, e posizionata nella colonna 4, nella riga uguale a id_bus. È stata scelta questa soluzione per poter accedere ai tempi delle fasi rapidamente

senza dover utilizzare una tabella esterna. Nella tabella vengono poi salvati i tempi di inizio delle operazioni.

```
IF OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE]/= "" THEN
  wabbinata:=str_to_obj(sprintf(copy(OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE], 1, 3), "N_FASE"));
  faseabbinata:=str_to_num(copy(OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE], 5, 5) );
  waituntil wabbinata.value >= FASEAbbinata PRIO 1;
end;
```

Figura 92. Metodo Discr_fase (3).

In questa parte di codice si verifica che le operazioni svolte da più operatori in contemporanea inizino allo stesso momento. L'operatore che terminerà per primo l'attività precedente dovrà attendere che l'altro operatore (o gli altri) finiscano le loro operazioni.

```
if W1_N_FASE>1 then
  IF OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE-1]/= "" THEN
    wabbinata:=str_to_obj(sprintf(copy(OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE-1], 1, 3), "N_FASE"));
    faseabbinata:=str_to_num(copy(OP_ABBINATE[1, W1_N_FASE-1], 5, 5) );
    waituntil wabbinata.value >= FASEAbbinata+1 PRIO 1;
  end;
end;
```

Figura 93. Metodo Discr_fase (4).

Quest'ultima porzione di codice invece verifica, per le operazioni svolte insieme da più operatori, che le attività terminino allo stesso tempo.

Una volta creati i metodi Discr_fase e fase_successiva per ogni operatore, è possibile avviare la simulazione ed osservare l'andamento della linea, nonché l'avanzamento delle lavorazioni. È utile a questo punto, creare un metodo che permetta di registrare i dati relativi ai tempi di processo e movimentazione all'interno di una tabella. Questo metodo è stato chiamato Movimentazione.

```
is
  SP, WP:object;
  j:integer;

do
  T.DELETE;

  -----W1-----
  for local i:=1 to Ultima_OP_W1 loop
    SP:=str_to_obj(sprintf(?.location.name, "_W1_F",i));

    if sp.succ.class.name="Assembly" and sp.proctime>0 then
      sp.proctime:=0;
    end;
    if(SP.ProcTime>0) then
      t["TEMPO DI PROCESSO W1 [MIN]",i]:=SP.ProcTime/60;
    else
      t["TEMPO DI PROCESSO W1 [MIN]",i]:=SP.succ.ProcTime/60;
      WP:=str_to_obj(sprintf("O", ?.location.name, "_W1_F",i, "C"));
      t["TEMPO DI LOADING W1 [MIN]",i]:=WP.LoadingTime/60;
    end;
    t["TEMPO TOTALE W1",i] :=t["TEMPO DI PROCESSO W1 [MIN]",i]+t["TEMPO DI LOADING W1 [MIN]",i];
  next;
  T[1,1]:=T.SUM({"TEMPO TOTALE W1", 1}..{"TEMPO TOTALE W1", *});
```

Figura 94. Metodo Movimentazione.

Inizialmente viene cancellato il contenuto della tabella. In seguito, in un ciclo for che va da 1 fino all'ultima operazione di W1 (variabile globale), viene verificato se la singleproc precede un assembly; in questo caso il tempo di processo dell'oggetto viene impostato a 0 (dato che l'operazione è di assemblaggio, verrà eseguita sull'assembly). Se invece il tempo di processo è maggiore di 0, cioè la singleproc non precede l'assembly, viene registrato il tempo della stessa (convertito in minuti) all'interno della tabella t. Se così non è (else), viene registrato il tempo di processo dell'assembly.

Viene poi assegnato alla variabile WP il nome dell'operatore assegnato al contenitore. Dopodiché, viene registrato il tempo di prelievo del lavoratore. Successivamente viene calcolato il tempo totale dell'operazione, dato dalla somma dei tempi di processo e di prelievo. Infine, viene ricavato il tempo totale delle operazioni eseguite da W1, sommando i tempi totali delle lavorazioni.

Per W2, W3 e W4 viene eseguito un procedimento pressoché identico.

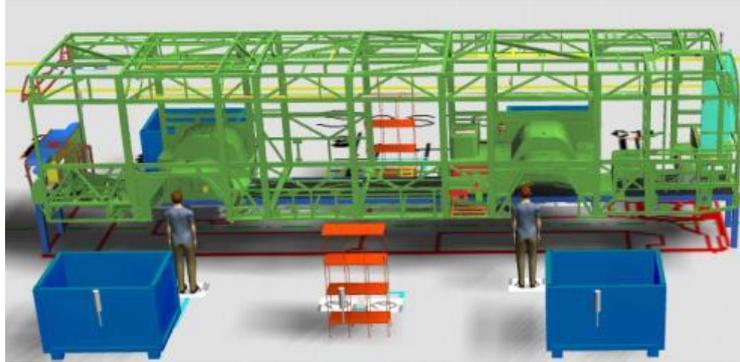


Figura 95. Stazione 1 vista dal programma di simulazione.



Figura 96. Linea di montaggio vista dal programma di simulazione.

3. Conclusioni

3.1. Considerazioni finali e implicazioni

Una volta conclusa la fase di simulazione, è opportuno analizzare quali vantaggi può apportare il progetto, al fine di incrementare la produzione giornaliera.

Il punto cruciale di questo lavoro è stato passare da una produzione “artigianale”, in cui non era possibile reiterare un’operazione ottenendo identici tempi e metodi di montaggio, ad una sequenza standardizzata di operazioni ripetibili.

Affinché sia possibile realizzare questo cambiamento, è necessario tener conto dell’aumento del consumo di merci in magazzino, dovuto ad un forte aumento della produttività.

I contenitori, che in precedenza venivano posizionati in un’area precisa dello stabilimento situata tra il magazzino e il reparto produttivo, verranno posti a bordo linea, per velocizzare le operazioni di montaggio riducendo significativamente i tempi di prelievo dell’operatore.

Inizialmente i componenti venivano riposti nei contenitori secondo una disposizione libera. Una volta apportate le modifiche necessarie, il contenuto verrà organizzato in appositi kit di montaggio. I kit verranno preparati in un’apposita area situata vicino al magazzino.

Gli operatori non devono necessariamente possedere un alto tasso di specializzazione, in quanto le operazioni diventano standard e ripetibili. Inoltre, non è necessario l’utilizzo di strumentazione avanzata per l’esecuzione delle mansioni richieste. Il progetto semplifica i compiti dell’operatore rispettando l’ergonomia del posto di lavoro e fornendo le dovute pause fisiologiche, evitando alti gradi di saturazione.

Infine, mostrare il funzionamento del sistema attraverso la simulazione ad eventi discreti rappresenta un valore aggiunto perché permette di osservare come le modifiche proposte migliorino i risultati produttivi senza dover incorrere in costi per mettere in pratica il sistema. I dati forniti dal programma permettono di valutare (in modo interattivo), oltre alla correttezza del progetto in atto, il vantaggio economico che potrebbe derivare da ulteriori modifiche del sistema che portino ad un aumento ancor maggiore della produttività. Nello specifico, si analizza quali sono le modifiche che comportano il minor costo ed il maggior ritorno in termini produttivi ed economici. In pratica, il

programma di simulazione fornito è un ottimo punto di partenza per l'impresa, che permette di iniziare un processo di miglioramento continuo che porta alla riduzione dei costi, all'aumento della produttività ed all'ottimizzazione dell'uso delle risorse a disposizione.

Per avere un'idea dei risultati che è possibile ottenere attraverso queste modifiche è sufficiente pensare che la produzione giornaliera che si otterrà sarà cinque volte quella attuale, il tutto senza aumentare né la quantità di operatori a disposizione, né il numero di ore lavorative, né investire in costosi macchinari industriali.

Come spiegato nell'introduzione, l'obiettivo di questo progetto è quello di garantire la produzione di 1.7 veicoli al giorno, utilizzando un solo turno di lavoro. Come dimostrato dalla figura in basso, la produzione stabilita è stata raggiunta. Il tutto è stato realizzato gestendo ogni dettaglio, iniziando dall'arrivo della scocca dalla fase di verniciatura: vengono preparati i kit necessari per l'assemblaggio di determinati componenti (in base alle informazioni contenute nei quadri di montaggio) e posti nei contenitori (in quantità e dimensioni definite dalle valutazioni svolte in precedenza) adiacenti alle zone di montaggio. Gli operatori effettueranno quindi le operazioni di assemblaggio: devono essere utilizzate 5 stazioni e 20 operatori, ognuno dei quali svolge una sequenza standardizzata di operazioni, alcune con la collaborazione di altri lavoratori della stessa stazione. L'utilizzo di un'area di kitting rende più efficiente la linea, consentendo di rispettare i tempi di operazione.

Il tutto viene simulato infine grazie al programma di simulazione ad eventi discreti.

È necessario impostare un tempo di simulazione significativamente grande per poter ottenere dei risultati affidabili; in questo caso la scelta è stata quella di avviare la simulazione per 52 giorni e 12 ore. Ovviamente il programma è in grado di riprodurre l'andamento della linea per il tempo desiderato in pochi secondi.

Al fine di svolgere un'analisi accurata, sono stati richiesti al cliente i tempi ciclo relativi alle aree di lastratura e verniciatura. Questi valori sono fondamentali perché un ritardo nell'arrivo della scocca alla prima stazione di montaggio genererà ritardi in ognuna delle stazioni riducendo la produzione giornaliera. Dopodiché è stata creata un'interfaccia dalla quale è possibile modificare i parametri relativi ai tempi di ciclo dei reparti di lastratura, verniciatura e montaggio per constatare come i ritardi generati in una di queste aree si ripercuotono sul throughput giornaliero.

Ad esempio, un aumento del dieci percento del tempo ciclo dell'area di lastratura riduce la produzione giornaliera di un valore che supera l'otto percento. Allo stesso modo, un aumento del dieci percento del tempo ciclo dell'area di verniciatura riduce la produzione dell'otto percento. Un aumento analogo nell'area di montaggio comporta invece una riduzione del 9 percento della produzione giornaliera.

È possibile inoltre simulare la presenza di guasti, impostando la disponibilità delle varie aree.

Ad esempio, utilizzando forni di verniciatura disposti in serie con disponibilità pari al 97 percento, è possibile ottenere il seguente grafico che mostra l'occupazione stimata dei forni.

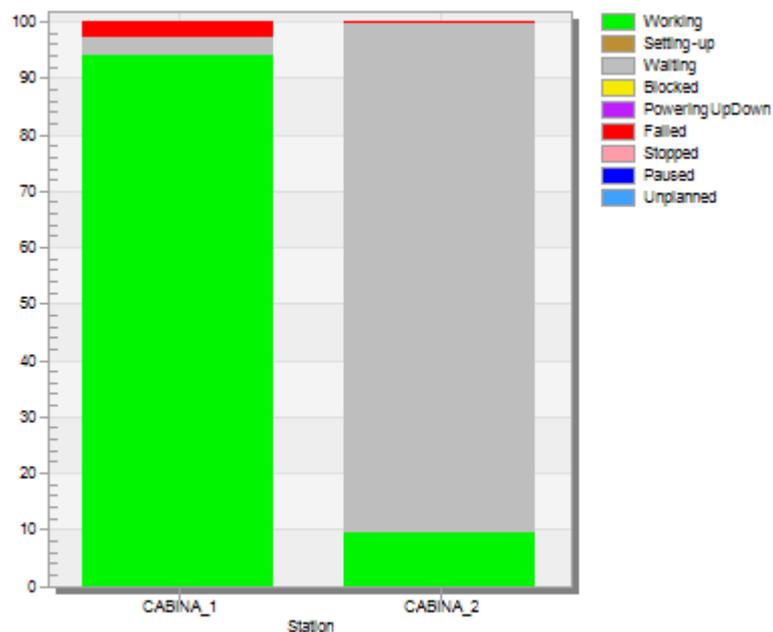


Figura 97. Occupazione dei forni di verniciatura.

Osservando il grafico è triviale intuire che la prima cabina viene utilizzata correttamente per la maggior parte del tempo a disposizione, con bassi tempi di attesa. La seconda invece rimane inutilizzata per il 90 percento del tempo utile, in attesa che la scocca giunga dal primo forno di verniciatura. In questo caso l'operazione della prima cabina ha un'alta durata e un alto tasso di arrivo, facendo sì che il forno sia quasi sempre utilizzato, al contrario della seconda cabina che deve attendere la conclusione delle attività che la precedono e effettuare una rapida operazione di rifinitura.

La situazione che si presenta in quest'area, supponendo che la disponibilità e la disposizione dei forni di verniciatura sia quella dell'esempio trattato finora, non rappresenta un problema (con questa disposizione verrebbe comunque raggiunto il target produttivo di 1.7 veicoli al giorno) in quanto

permette alle scocche di arrivare alla prima stazione senza causare attese superiori a quelle stabilite in precedenza.

È stato molto interessante lavorare a questo progetto, mi ha permesso di apprendere concetti nuovi ed approfondire quelli che già conoscevo, studiati durante il mio percorso universitario.

Seguire lezioni di "Impianti industriali e sicurezza sul lavoro" e "Innovazione del processo" presso il Politecnico di Torino mi ha consentito di ottenere una solida base teorica da cui partire.

Lo studio di materie come “Métodos de la Calidad Total” e “Dirección de Producción y Operaciones” presso l’Universitat Internacional de Catalunya e i relativi approfondimenti che ne sono derivati mi hanno supportato nella realizzazione di questo progetto e hanno contribuito ad ampliare le mie conoscenze riguardo le linee produttive e le metodologie finalizzate a ridurre i difetti ed eliminare gli sprechi.

Cominciare la rielaborazione della linea, avendo a disposizione le matematiche del veicolo e poco più, non è stato semplice. Il veicolo ha moltissimi componenti, date le sue dimensioni, ed è stato necessario identificarli tutti prima di procedere con la definizione del ciclo di montaggio. Inoltre, è stato impegnativo coordinare le operazioni degli operatori affinché esse avvenissero in simultanea, sia a livello di macro-ciclo che di codice da creare per rendere possibile il corretto funzionamento della simulazione. Nonostante le difficoltà, è stato soddisfacente osservare il funzionamento della linea (e le relative statistiche) in modo interattivo dal software di simulazione, presentando poi il progetto all’impresa commissionante, che lo ha apprezzato. Spero che le modifiche vengano apportate appena possibile, per ottenere i risultati illustrati in questo lavoro. I cambiamenti proposti sono radicali, se si pensa ai metodi attuali, pertanto l’impresa potrebbe impiegare del tempo ad attuare il processo di rielaborazione.

	Throughput
Throughput Orario	0.249
Throughput Totale 1 Turno	1.745

Figura 98. Produzione oraria e giornaliera.

3.2. Ricerca futura e limitazioni

Lo studio svolto si base sull'utilizzo di un solo turno di lavoro. Utilizzando due turni oppure tre, sarebbe possibile aumentare notevolmente la produzione giornaliera. Inoltre, investendo in macchinari più moderni (ad esempio un sistema di trasporto della scocca automatizzato) si potrebbero raggiungere tempistiche ancor minori. Sarebbe possibile applicare metodi di miglioramento a livello d'impresa, come il WCM ad esempio, per puntare ad un ulteriore incremento delle prestazioni. Infine, lo studio è svolto in base all'attuale stato dell'arte del settore; in futuro saranno disponibili nuove tecniche da implementare e nuovi macchinari da utilizzare, che permetteranno il perfezionamento delle tecniche illustrate in questo progetto.

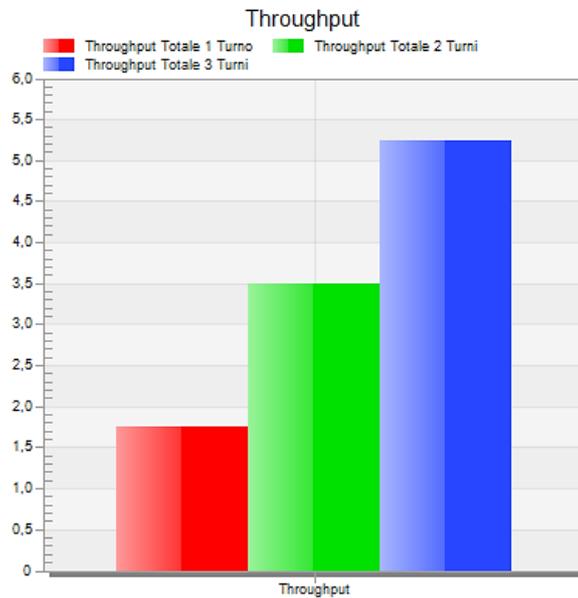


Figura 99. Produzione suddivisa per numero di turni di lavoro.

	Throughput
Throughput Orario	0.249
Throughput Totale 1 Turno	1.745
Throughput Totale 2 Turni	3.491
Throughput Totale 3 Turni	5.236

Figura 100. Produzione raggiunta, suddivisa per numero di turni di lavoro.

4. Bibliografia

- Barlotti, C. (2016). Lean Thinking. Analisi Misura Ottimizzazione. Bologna: Esculapio.
- Patacchia, L. (2017). La disciplina dei tempi di lavoro nel sistema Ergo-UAS. Problemi e prospettive. ADAPT University Press, 7-12. Disponibile da <https://moodle.adaptland.it/course/view.php?id=139§ion=1>.
- Gattuso, D., Cassone, G.C. (2013). I nodi della logistica nella supply chain. Milano: FrancoAngeli s.r.l.
- Bangsow, S. (2015). Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples. Zwickau: Springer.
- Mes, M.R.K. (2017). Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial. Disponibile da <https://www.utwente.nl/en/bms/iebis/staff/mes/plantsimulation>.