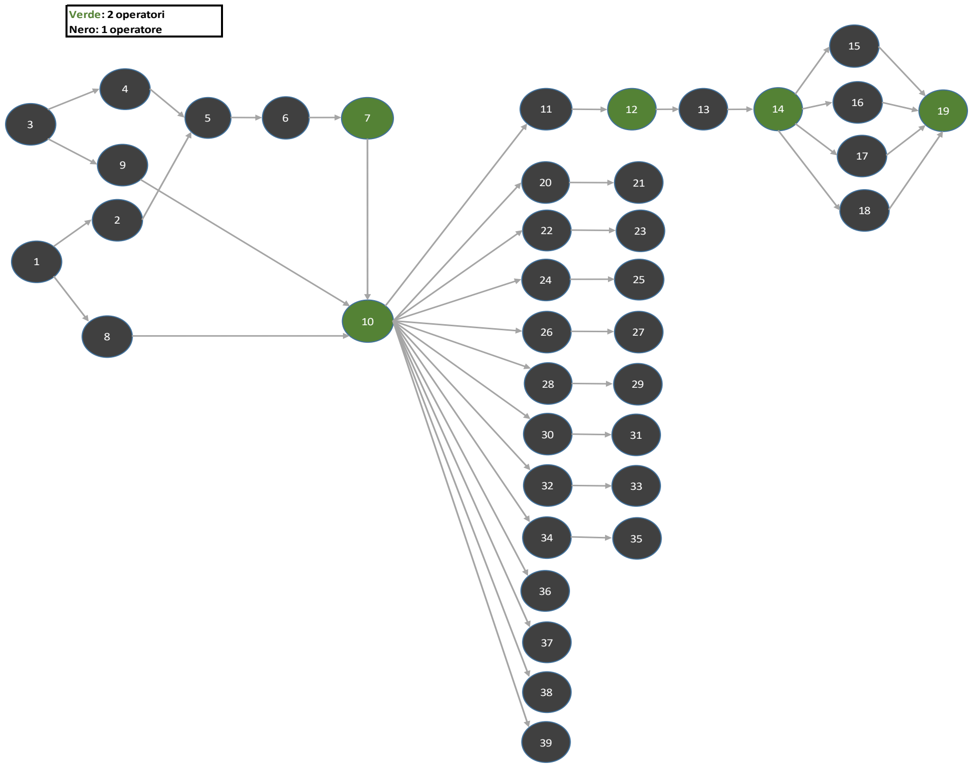
IL CASO FOOTBALL FACTORY

- Di Grandi Daniele, matricola: 887284
- Di Stefano Giuseppe, matricola: 871815

Progetto del corso di “Laboratorio di Impianti Industriali”, Prof. Tappia Elena
Anno accademico 2019/2020

Grafo delle attività

Per realizzare il grafo è stato sufficiente considerare le precedenze note fra le attività. Inoltre, abbiamo notato che era possibile accorpare in parallelo molte di queste, sfruttando la presenza già necessaria di 2 operatori su alcune attività. Ad esempio, le attività n.7 e n.10 necessitano di 2 operatori. Se queste attività venissero svolte nella stessa stazione delle attività che le precedono, avremmo disponibili 2 operatori per svolgerle, quindi, in un'ottica di ottimizzazione dei tempi, si potrebbe pensare di far svolgere alcune attività ad un operatore, mentre l'altro svolge le rimanenti: ad esempio, le attività n.1, n.2 e n.8 saranno svolte da un operatore mentre l'altro operatore svolge le attività n.3, n.4 e n.9. È chiaro che in questo modo, nel calcolo del tempo di attraversamento, si debba tenere conto solo del massimo del tempo impiegato tra la somma dei tempi delle attività svolte in parallelo: in sostanza, il tempo dell'operatore che finisce più tardi. Con questa logica abbiamo parallelizzato altre attività del grafo, visibili sul foglio Excel.



La notazione che abbiamo utilizzato nel foglio Excel sarà ad esempio: 1+2+8 / 3+4+9, a significare che mentre il primo operatore svolge le attività n.1, n.2 e n.8, l'altro operatore svolge in parallelo le attività n.3, n.4 e n.9.

Fatto ciò, ci siamo assicurati semplicemente che le composizioni in parallelo fossero fisicamente realizzabili dagli operatori, e che avessero un certo senso cronologico all'interno del processo produttivo di realizzazione del calcetto. Grazie a questa ottimizzazione, invece di ottenere un tempo di attraversamento medio di 646 secondi, ne otteniamo uno pari a 399 secondi.

Simulazione con una distribuzione Normale

ID_operazione	1	2
1	21,505	17,131
2	9,733	8,746
3	16,313	19,215
4	9,255	8,510
5	20,670	15,663
6	16,816	19,365
7	26,398	24,766
8	10,909	8,625
9	8,971	9,343
10	20,829	19,262
11	16,282	17,612
12	7,092	6,756
13	10,154	8,233
14	21,065	25,738
15	32,220	30,990
16	28,868	31,868
17	36,161	30,808
18	34,103	29,299
19	3,760	4,110
20	6,402	8,486
21	9,696	12,095
22	7,505	7,395
23	14,748	6,413
24	6,700	7,815
25	10,509	10,007
26	7,000	8,427
27	12,555	6,380
28	8,017	7,209
29	9,593	14,089
30	6,555	8,749
31	13,660	11,785
32	6,123	7,324
33	7,639	9,175
34	7,951	6,975
35	14,346	10,391
36	34,054	38,531
37	37,824	38,912
38	34,440	34,476
39	32,955	33,075
TA simulazione	410,577	391,506

Per tenere conto della deviazione standard delle varie operazioni, utilizziamo lo strumento della simulazione Monte Carlo. L’obiettivo è quello di ricavare un tempo di attraversamento più realistico dei 399 secondi trovati, in modo da decidere correttamente il numero di stazioni da utilizzare.

L’immagine a sinistra, mostra un esempio di 2 simulazioni, ottenute attraverso l’implementazione per ogni operazione della formula:
“=INV.NORM.N(CASUALE(); MEDIA; DEV_STD)”

Il calcolo del tempo di attraversamento è stato effettuato attraverso la logica degli operatori in parallelo spiegata nella precedente slide.

Nel file di Excel, abbiamo simulato 20 RUN per 2 volte (evitando di simulare 40 RUN in una singola volta, in modo da rendere il file più leggero) e attraverso queste, otteniamo un valore realistico del tempo di attraversamento medio, pari a circa 412,5 secondi: se confrontato con i 399 secondi calcolati utilizzando solo la media delle operazioni, ci sembra una buona stima.

Algoritmo del massimo grado di saturazione imposto

Per trovare il numero di stazioni, abbiamo utilizzato l'algoritmo del massimo grado di saturazione imposto, imponendo un coefficiente di saturazione dell'85% che ci permette di avere un buon margine di sicurezza e di efficientare l'utilizzo della linea, ad esempio non lavorando a regime si abbassa la probabilità di incorrere in fermo impianti causa guasto, dovendo sostenere i relativi costi. Prima di procedere con l'algoritmo abbiamo però la necessità di settare il valore target di Tempo Ciclo della stazione, che è quella derivante direttamente dalla soddisfazione della domanda di 800 calcetti. Inoltre, abbiamo immaginato un coefficiente di utilizzo del tempo disponibile pari al 97%, concedendo quindi 15 minuti al giorno (durante le ore lavorative) per pause di qualsiasi tipo (servizi, caffè, riposo, …). Sapendo che:

$$Tempo\ ciclo = \frac{1}{Potenzialità}$$

Otteniamo:

Potenzialità vera [pz/h]	**20,62**
Potenzialità [pz/s]	0,00573
Tempo ciclo [h/pz]	0,0485
Tempo ciclo vero [s/pz]	**174,6**

Stazione	Grado sat.	Verifica	#operatori
1	83,49%	ok	2
2	76,38%	ok	2
3	76,38%	ok	2
4	0,00%	ok	0
Saturazione media	**78,75%**		

Implementando l'algoritmo abbiamo ottenuto diverse soluzioni fattibili, ma quella che ha restituito questi gradi di saturazione è secondo noi la migliore perché il valore di saturazione di ogni stazione è quello che si avvicina maggiormente al valore medio, che veniva uguale per ogni soluzione trovata.

Nella slide successiva, si possono notare quali attività abbiamo parallelizzato, assicurandoci di aver controllato, oltre alla fattibilità fisica del parallelo, anche la fattibilità su una stessa stazione, risultando operativamente possibile. Inoltre, trovando un numero di stazioni (3) pari al numero minimo di stazioni risultato dal calcolo teorico, siamo sicuri di aver ottimizzato nel modo migliore.

Algoritmo del massimo grado di saturazione imposto

ID_operazione	Durata media [s]	Durata simulata [s]	Stazioni
1+2+8/3+4+9	35,00	36,18	1
5	20,00	20,68	1
6	18,00	18,61	1
7+10 (entrambe 2 op)	49,00	50,66	1
11	18,00	18,61	2
12	7,00	7,24	2
13	9,00	9,30	2
14	24,00	24,81	2
15+16/17+18	64,00	66,17	2
19	7,00	7,24	2
20+21/22+23	19,00	19,64	1
24+25/26+27	19,00	19,64	3
28+29/30+31	19,00	19,64	3
32+33/34+35	19,00	19,64	3
36+38/37+39	72,00	74,44	3
Tempo Attraversamento [s]	399,00	412,50	

Per passare dalla durata media alla durata simulata, abbiamo dovuto utilizzare il valore del tempo di attraversamento di 412,5 secondi che abbiamo trovato grazie alle simulazioni effettuate. In questo modo, siamo stati in grado di aumentare le durate delle singole attività, moltiplicandole per un coefficiente pari a 412,5/399, ipotizzando una distribuzione del tempo uniforme.

Sommando invece i tempi delle singole attività da effettuare in una stessa stazione, otteniamo il Tempo Ciclo teorico minimo (che massimizza la produttività) della stazione:

Stazione	TC min [s/pz]	PT MAX [pz/s]	PE MAX [pz/s]	PE MAX [pz/h]	PE vera [pz/h]	TC vero [s/pz]	Saturaz potenzialità
1	145,77	0,00686	0,00665	**23,96**	20,62	174,6	86,07%
2	133,37	0,00750	0,00727	**26,18**	20,62	174,6	78,75%
3	133,37	0,00750	0,00727	**26,18**	20,62	174,6	78,75%

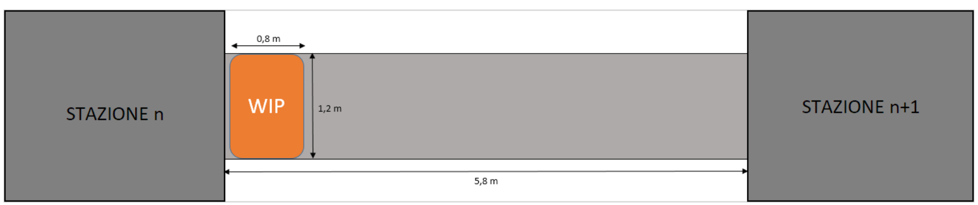
Grazie a questo passaggio, possiamo capire la potenzialità massima alla quale la singola stazione può lavorare (PE MAX). Essendo la linea a cadenza (quindi non avendo la possibilità di inserire dei buffer tra le stazioni), dovremmo utilizzare la potenzialità della stazione collo di bottiglia, cioè 23,96 pz / h. Tuttavia, se usassimo questa potenzialità, avremmo una produzione di 929 calcetti settimanali, decisamente troppo rispetto agli 800 calcetti di domanda corrente. Questo ci permette di settare la potenzialità al valore di 20,62 pz / h, consci del fatto che è sicuramente aumentabile fino ad un massimo di 23,96 pz / h, nel caso si dovesse verificare un aumento improvviso della domanda, fino ad un massimo di 929 calcetti a settimana.

WIP in coda

Una volta stabilita la posizione delle attività nelle stazioni e la potenzialità effettiva di lavoro, per conoscere il numero di pezzi in coda, abbiamo ragionato sul fatto che le stazioni lavorano ad una potenzialità minore della loro potenzialità di targa, dunque fra le stazioni non c'è un effettivo collo di bottiglia che stabilisce il ritmo produttivo, ma anzi, è la domanda settimanale che lo stabilisce.

Tutto questo significa solo una cosa: tra una stazione e l'altra, non abbiamo mai dei WIP in coda!

Un tempo ciclo di 174,6 secondi (maggiore del tempo ciclo di targa di ciascuna stazione) ci garantisce infatti una continuità della lavorazione, potendo iniziare la lavorazione del WIP appena questo arriva alla stazione di riferimento.



Alla luce di questo risultato, la lunghezza del nastro convogliatore, poiché su di esso non ci sono mai contemporaneamente 2 WIP, diventa una sorta di "parametro libero" che abbiamo imposto uguale a 5,8 m (a + L), come descritto anche nel file Excel.

Posizionando il WIP sul nastro per il lato più corto (a = 0,8 m) ed essendo la velocità del nastro un parametro regolabile, la abbiamo settata ad un valore ci circa 2 m / min, in modo da avere una lunghezza del convogliatore di circa 5,8 m, utilizzando la formula: $v = P \times (a + L)/Q$, con $Q = 1 \frac{calcetti}{plt}$.

Numero di AGV e piano di rifornimento

Come prima cosa, stimiamo il tempo disponibile in un giorno lavorativo, tenendo conto di avere 5 giorni lavorativi alla settimana, con 8 ore al giorno e un coefficiente di utilizzo del tempo pari al 97%, ottenendo 27.936 secondi / gg.

Per poter ricavare il numero di AGV, ci servirebbe sapere quanti giri sono necessari al giorno per poter garantire il fabbisogno di componenti per ogni attività e quanti giri può effettuare un singolo AGV nel tempo disponibile sapendo che:

$$\# \, AGV = \frac{Giri \; totali \; necessari}{Giri \; disponibili \; singolo \; AGV}$$

Iniziamo quindi a stimare il numeratore di questa frazione.

Inserendo nel foglio Excel anche la stazione dove verrà eseguita l'operazione, posso effettuare il calcolo suddiviso per componente e per stazione, raggruppando le richieste di uno stesso componente necessitato da 2 operazioni diverse, ma che si svolgono sulla stessa stazione, come ad esempio il componente n.9 è richiesto dalle operazioni n.21 e n.23, ma queste operazioni sono entrambe eseguite nella stazione n.1. Sommando le richieste di questi componenti, posso individuare la richiesta del componente n.9 sulla stazione n.1, rendendo più semplice la soluzione a questo problema, considerando la tipologia di giro effettuata dagli AGV: consegna dei componenti stazione per stazione e non attività per attività.

Numero di AGV e piano di rifornimento

	Stazioni		
Componente	1	2	3
1	0,00	0,00	105,60
2	0,00	0,00	105,60
3	0,00	0,00	105,60
4	0,00	0,00	105,60
5	0,00	0,00	105,60
6	0,00	0,00	105,60
7	105,60	0,00	0,00
8	105,60	0,00	0,00
9	51,20	0,00	153,60
10	51,20	0,00	153,60
11	0,00	105,60	0,00
12	0,00	0,00	25,60
13	0,00	0,00	25,60
14	0,00	76,80	0,00
15	0,00	838,40	0,00
16	350,40	0,00	0,00
17	76,80	0,00	0,00
18	0,00	0,00	115,20
19	0,00	76,80	0,00
20	12,80	12,80	0,00
21	0,00	0,00	115,20
22	652,80	0,00	0,00
23	723,20	0,00	0,00
24	0,00	264,00	0,00
25	0,00	76,80	0,00
26	0,00	0,00	25,60
27	0,00	0,00	25,60
28	12,80	12,80	0,00
Somme	2.142,40	1.464,00	1.273,60

Attraverso questo metodo, tenendo conto del coefficiente di utilizzo di ogni componente per ogni fase e utilizzando la potenzialità di 20,62 pz / h che abbiamo imposto, ricaviamo nella tabella qui a fianco, il fabbisogno giornaliero in kg / gg di ogni componente su ogni stazione. Sommando tutti i fabbisogni, otteniamo il fabbisogno totale in kg / gg che deve essere consegnato in una normale giornata lavorativa, pari a 4.880 kg / gg, necessari ogni giorno per 5 giorni in modo da soddisfare una domanda settimanale di 800 calcetti.

Ogni AGV può portare al massimo 80 kg di componenti, ma ovviamente non possiamo considerare che in ogni giro, ogni AGV porti sempre il peso massimo. Ipotizziamo quindi un coefficiente di saturazione medio degli AGV, pari a 93%, ottenendo quindi un peso medio trasportato di 74,4 kg / giro. Stimiamo quindi i giri al giorno necessari, arrotondando ovviamente per eccesso, come:

$$Giri\ totali\ necessari = \frac{Fabbisogno\ giornaliero\ kg/gg}{kg/giro} = \frac{4.880}{74,4} = 66\ \frac{giri\ necessari}{gg}$$

Numero di AGV e piano di rifornimento

Per stimare i giri disponibili giornalmente per il singolo AGV, il procedimento è un po' più complicato. La logica è quella di stimare come prima cosa, i secondi totali al giorno necessari di tempi fissi per il carico/scarico dei lotti nelle stazioni. Sottraendo infatti questo tempo al tempo totale disponibile giornalmente (27.936 secondi) otteniamo il tempo che ogni AGV ha a disposizione per percorrere la strada di 1,7 km. Andando a una velocità pari a 0,5 m/s, per percorrere 1,7 km l'AGV impiega 3.400 secondi. Ricaviamo quindi:

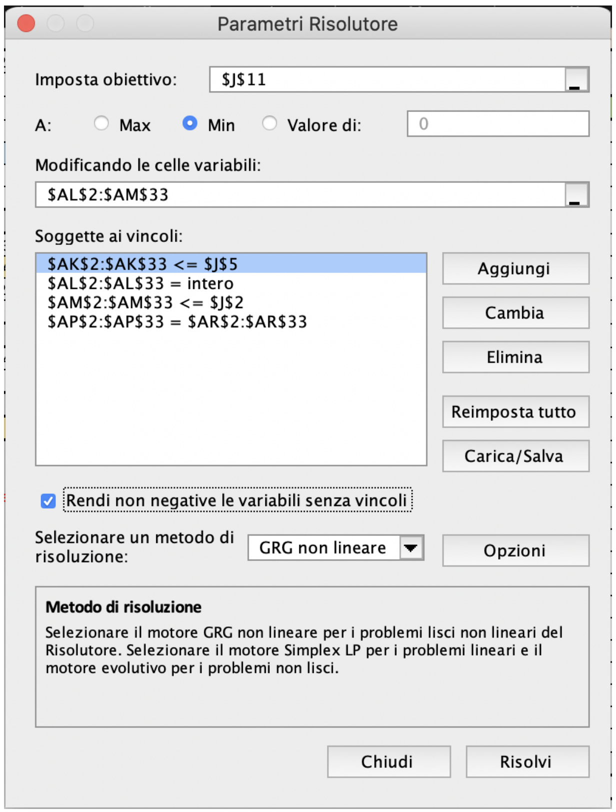
$$Giri\ disponibili\ singolo\ AGV = \frac{Tempo\ per\ la\ strada}{3.400\ secondi/giro}$$

Riusciremo quindi a ricavare, trovando tutti i dati, il numero di AGV necessari.

Stimando quindi il totale dei tempi fissi, possiamo ricavare il numero di AGV. È interessante notare che tipo di relazione c'è tra il tempo fisso e il numero di AGV, dato che il nostro piano produttivo impatta proprio questa grandezza: più il tempo fisso aumenta e più il tempo disponibile per la strada diminuisce. Più il tempo per la strada diminuisce e più diminuiscono i giri disponibili per il singolo AGV. Più questi giri diminuiscono, più aumenta il numero di AGV. Questo significa che minimizzare il tempo fisso che ogni AGV impiega nel carico/scarico, significa minimizzare il numero di AGV. Essendo computazionalmente più efficiente, nel nostro modello minimizzeremo il totale dei tempi fissi.

Numero di AGV e piano di rifornimento

Per risolvere il problema, impostiamo un modello di programmazione nel risolutore di Excel, da risolvere tramite l'algoritmo «GRG non lineare».



Definendo anche una tabella simile alla precedente, in questo caso otteniamo quanti secondi necessita ogni componente in carico/scarico, per ogni stazione.

	Stazioni		
Componente	1	2	3
1	0	0	120
2	0	0	120
3	0	0	120
4	0	0	120
5	0	0	120
6	0	0	120
7	120	0	0
8	120	0	0
9	60	0	120
10	60	0	120
11	0	120	0
12	0	0	60
13	0	0	60
14	0	60	0
15	0	660	0
16	300	0	0
17	60	0	0
18	0	0	120
19	0	60	0
20	60	60	0
21	0	0	120
22	540	0	0
23	600	0	0
24	0	240	0
25	0	60	0
26	0	0	60
27	0	0	60
28	60	60	0
Somme	1.980	1.320	1.440

Ovviamente, l'output del risolutore avrà una diretta conseguenza sui valori che sono inseriti automaticamente in questa tabella, in quanto definendo la frequenza di rifornimento come variabile del problema, avremo valori diversi per frequenze diverse. Quelli nell'immagine sono già i valori definiti ottimi dal risolutore, quindi che minimizzano il totale dei tempi fissi.

Numero di AGV e piano di rifornimento

La funzione obiettivo da minimizzare sarà quindi la somma della tabella dei tempi fissi appena mostrata. Le variabili decisionali del problema sono:

- Frequenza di rifornimento (secondi / gg)
- Frequenza di rifornimento (lotti / gg)

Questa seconda variabile, anche se sembra ridondante, è stata dovuta inserire per forza nel risolutore, in quanto andavano definiti dei valori interi, impossibile se una variabile non viene specificata come tale nel risolutore.

	Stazioni		
Componente	1	2	3
1	0,00	0,00	52,80
2	0,00	0,00	52,80
3	0,00	0,00	52,80
4	0,00	0,00	52,80
5	0,00	0,00	52,80
6	0,00	0,00	52,80
7	52,80	0,00	0,00
8	52,80	0,00	0,00
9	51,20	0,00	76,80
10	51,20	0,00	76,80
11	0,00	52,80	0,00
12	0,00	0,00	25,60
13	0,00	0,00	25,60
14	0,00	76,80	0,00
15	0,00	76,22	0,00
16	70,08	0,00	0,00
17	76,80	0,00	0,00
18	0,00	0,00	57,60
19	0,00	76,80	0,00
20	12,80	12,80	0,00
21	0,00	0,00	57,60
22	72,53	0,00	0,00
23	72,32	0,00	0,00
24	0,00	66,00	0,00
25	0,00	76,80	0,00
26	0,00	0,00	25,60
27	0,00	0,00	25,60
28	12,80	12,80	0,00
Somme	525,33	451,02	688,00

La prima frequenza di rifornimento è invece necessaria che sia in secondi / gg, in quanto bisognava assicurarsi di rispettare il vincolo di non andare in stock-out di ogni componente in ogni attività, assicurandosi la presenza di materiale tra un rifornimento e l'altro. Per come abbiamo aggregato le attività sulle stazioni, il vincolo si può tranquillamente trasformare in: assicurarsi la presenza di componenti in ogni stazione tra un rifornimento e l'altro. Nell'immagine a sinistra, considerando la potenzialità di 20,62 calcetti / h, abbiamo calcolato il fabbisogno di componenti per ogni stazione (in kg) nell'intervallo di tempo che intercorre tra due consegne diverse. Ovviamente, anche questa tabella si aggiorna in base alla frequenza di rifornimento, e i dati mostrati sono quelli relativi al piano ottimo datoci in output dal risolutore.

Numero di AGV e piano di rifornimento

I valori trovati nella tabella precedente, sono i valori di lotto minimi che, se consegnati, assicurano quindi di non andare in stock-out durante il periodo di rifornimento: dunque, saranno questi i nostri lotti di riordino.

I vincoli che abbiamo impostato nel risolutore sono:

- Ogni lotto di riordino non deve superare gli 80 kg, altrimenti l'AGV non riesce a trasportarlo
- La frequenza di riordino (in lotti / gg) dev'essere un numero intero
- La frequenza di rifornimento (in secondi / gg) dev'essere minore del tempo disponibile in un giorno
- Soddisfacimento della domanda giornaliera: la moltiplicazione tra i kg trasportati in ogni lotto e la frequenza di riordino (in lotti / gg) dev'essere uguale al fabbisogno giornaliero di ogni componente in ogni stazione.

ID_unico	Stazione di utilizzo	ID_componente	Descrizione	Lotto di riordino [kg/lotto]	Frequenza di rifornimento [lotti/gg]	Frequenza di rifornimento [s/lotto]
31	3	1	Asta attaccante B	52,80	2	13.968,00
32	3	2	Asta attaccante R	52,80	2	13.968,00
33	3	3	Asta centrocampista B	52,80	2	13.968,00
34	3	4	Asta centrocampista R	52,80	2	13.968,00
35	3	5	Asta difensore B	52,80	2	13.968,00
36	3	6	Asta difensore R	52,80	2	13.968,00
17	1	7	Asta portiere B	52,80	2	13.968,00
18	1	8	Asta portiere R	52,80	2	13.968,00
19	1	9	Boccola esterna	51,20	1	27.936,00
39	3	9	Boccola esterna	76,80	2	13.968,00
110	1	10	Boccola interna	51,20	1	27.936,00
310	3	10	Boccola interna	76,80	2	13.968,00
211	2	11	Bulloni	52,80	2	13.968,00
312	3	12	Contro vite porta	25,60	1	27.936,00
313	3	13	Contro vite segnapunti	25,60	1	27.936,00
214	2	14	Dado	76,80	1	27.936,00
215	2	15	Gamba	76,22	11	2.539,64
116	1	16	Piano	70,08	5	5.587,20
117	1	17	Pin	76,80	1	27.936,00
318	3	18	Porta	57,60	2	13.968,00
219	2	19	Rondella	76,80	1	27.936,00
120	1	20	Rondella sponda	12,80	1	27.936,00
220	2	20	Rondella sponda	12,80	1	27.936,00
321	3	21	Segna punti	57,60	2	13.968,00
122	1	22	Sponda Corta	72,53	9	3.104,00
123	1	23	Sponda Lunga	72,32	10	2.793,60
224	2	24	Tiranti	66,00	4	6.984,00
225	2	25	Vite	76,80	1	27.936,00
326	3	26	Vite porta	25,60	1	27.936,00
327	3	27	Vite segna punti	25,60	1	27.936,00
128	1	28	Vite sponda	12,80	1	27.936,00
228	2	28	Vite sponda	12,80	1	27.936,00

Per agevolare la soluzione e ottimizzare maggiormente, trattiamo uno stesso componente che andrebbe su 2 stazioni diverse (es. componente n.9), come se idealmente fosse un componente diverso, in modo da non forzare il risolutore a immettere uno stesso valore di frequenza di rifornimento. Notiamo infatti che nella soluzione ottimale, sono stati settati 2 valori diversi. La colonna ID_unico è invece stata costruita tramite un artificio (unendo il codice stazione e l'id del componente) per appoggiarci su questa in modo da automatizzare il calcolo delle tabelle già mostrate, utilizzando la funzione CERCA.VERT.

Numero di AGV e piano di rifornimento

Ottenuti i valori ricercati, siamo stati in grado di stimare i tempi fissi totali tramite la tabella che abbiamo già mostrato, ottenendo un totale di 4.740 secondi.

Implementando questo valore nelle formule discusse in precedenza, otteniamo un valore di giri disponibili giornalieri per il singolo AGV (dato questo piano di rifornimento) pari a 6, e quindi un numero di AGV pari a 11 unità.

Numero di AGV	**11**	**AGV**

Questo risultato è sicuramente ancora ottimizzabile, in quanto la nostra soluzione presuppone che ogni volta che un AGV deve caricare/scaricare un lotto, vengono conteggiati 60 secondi, indipendentemente dal momento in cui questa operazione viene effettuata e indipendentemente da quando gli altri AGV effettuano tale operazione.

Infatti, se 2 AGV stanno scaricando contemporaneamente un lotto, ma su due stazioni diverse, il tempo di carico/scarico non dovrebbe essere di 120 secondi, bensì di soli 60 secondi, in quanto le due operazioni sono eseguite in parallelo. Dato il giro che gli AGV compiono nel nostro caso, questa situazione occorre più volte durante il giorno: si pensi ad esempio, quando su tutte e 3 le stazioni vi è un AGV che scarica un lotto.

Non avendo formulato (e non essendo richiesto questo livello di dettaglio) un piano nel quale si specifica quale lotto di componente porta ogni AGV in ogni giro e in ogni stazione, non possiamo capire esattamente quante volte la situazione appena descritta si verifica.

Implementare questa ottimizzazione permetterebbe di ridurre il tempo fisso totale di carico/scarico, riuscendo a ridurre ulteriormente il numero di AGV necessari.