
JOB SHOP versus FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

DIMENSIONAMENTO DI UN SISTEMA PRODUTTIVO SECONDO LOGICHE JOB SHOP E MEDIANTE FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM - FMS

Un'azienda del settore aeronautico produce 66 componenti per velivoli diversi con un volume di produzione di 72 pezzi/anno per ciascun tipo (il volume di produzione complessivo è perciò di 4752 pezzi/anno). Tale produzione può essere pertanto caratterizzata da un mix di parti molto ampio con volumi unitari ridotti.

I 66 tipi di prodotti diversi fondamentalmente ottenuti secondo due differenti filosofie:

- 60 componenti ottenuti partendo da una lastra;
- 6 componenti ottenuti da fusione.

Questa grande differenziazione porta ad una naturale divisione in due grandi famiglie: denominate *famiglia 1* per i componenti da lastra e *famiglia 2* per quelli da fusione.

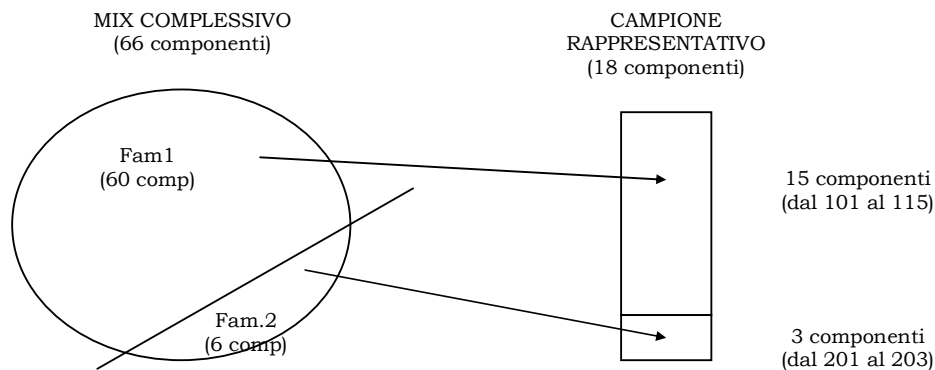
La produzione avviene per lotti di produzione composti da 24 unità/lotto.

1. Dimensionamento di un sistema produttivo job shop

Nel caso in cui si voglia rispondere alla domanda con un'organizzazione produttiva organizzata per reparto (layout per processo) lo studio dei cicli di fabbricazione porta ad individuare un certo fabbisogno di *tipologie* di macchine utensili, in particolare:

- fresatrice verticale
- fresatrice universale
- trapanatrice
- profilatrice bimandrino
- profilatrice a 4 mandrini
- centro di lavoro verticale
- centro di lavoro orizzontale
- tornio

Vista la difficoltà di reperire informazioni dettagliate sui tempi di lavorazione per tutti i 66 particolari da realizzare si estrae dall'intera popolazione del mix da realizzare un campione formato da 15 prodotti della famiglia 1 (quindi il 25% del totale) e 3 prodotti della famiglia 2 (il 50% del totale). Per tutti i componenti del campione (15+3 prodotti) si conoscono i tempi di lavoro e di attrezzaggio previsti sulle macchine utensili sopra citate.



L'analisi puntuale dei cicli di fabbricazione dei prodotti del campione ha permesso l'individuazione dei tempi di lavoro e di quelli di attrezzaggio per ogni fase.

Vengono definiti:

- TPM tempo di setup per la preparazione alla lavorazione del lotto del prodotto di riferimento (tiene conto del caricamento dei programmi di lavorazione, dell'approvvigionamento utensili per la lavorazione, dello staffaggio iniziale, del montaggio iniziale degli utensili, della pulizia della macchina, ecc...)
- TL tempo di lavorazione ($TL = TMU + TO$)
- TMU tempo di "truciolo" (in cui la macchina taglia sul pezzo)

LOGISTICA INDUSTRIALE LA

TO tempo di servizio dell'operatore alla macchina all'interno della lavorazione del singolo pezzo (comprende il tempo necessario all'operatore per sistemare gli utensili, eseguire i controlli, asportare i trucioli, ecc..).

Quindi per ciascun pezzo è possibile definire, in base al ciclo, la tempistica di lavoro per ciascuna fase del ciclo di fabbricazione . Ad esempio per il pezzo 101:

Pezzo n°101		fresatrice vert.		trapanatrice		profilatrice bimandrino		centro di lavoro orizzontale	
fase	descrizione	TPM (ore)	TL (ore/pezzo)	TPM	TL	TPM	TL	TPM	TL
10	Spianatura	0,5	0,15						
20	Centratura			0,5	0,2				
30	Profilatura					3	1,25		
40	Foratura							1,5	0,4
50	Spigolatura	1	0,4						
totale ore		1,5	0,55	0,5	0,2	3	1,25	1,5	0,4

Tab.1 Tempi di set up e di lavorazione del pezzo101

Scomponendo i tempi di attrezzaggio nelle due aliquote TMU e TO si ottiene:

Pezzo n°101		fresatrice vert.			trapanatrice			profilatrice bimandrino			centro di lavoro orizzontale		
fase	descrizione	TPM (ore)	TMU (ore/pz)	TO (ore/pz)	TPM	TMU	TO	TPM	TMU	TO	TPM	TMU	TO
10	Spianatura	0,5	0,09	0,06									
20	Centratura				0,5	0,12	0,08						
30	Profilatura							3	0,75	0,5			
40	Foratura										1,5	0,24	0,16
50	Spigolatura	1	0,24	0,16									
totale ore		1,5	0,33	0,22	0,5	0,12	0,08	3	0,75	0,5	1,5	0,24	0,16

Tab.1' Tempi di set up e di lavorazione (TMU e TO) del pezzo101

Considerando un lotto di 24 unità:

Pezzo n°101		fresatrice vert.			trapanatrice			profilatrice bimandrino			centro di lavoro orizzontale		
fase	descrizione	TPM (ore)	TMU (ore/pz)	TO (ore/pz)	TPM	TMU	TO	TPM	TMU	TO	TPM	TMU	TO
10	Spianatura	0,5	2,16	1,44									
20	Centratura				0,5	2,88	1,92						
30	Profilatura							3	18	12			
40	Foratura										1,5	5,76	3,84
50	Spigolatura	1	5,76	3,84									
totale ore		1,5	7,92	5,28	0,5	2,88	1,92	3	18	12	1,5	5,76	3,84

LOGISTICA INDUSTRIALE LA

Analogamente per il pezzo 102:

Pezzo n°102		fresatrice vert.		trapanatrice		profilatrice bimandrino		centro di lavoro orizzontale	
fase	descrizione	TPM (ore)	TL (ore/pezzo)	TPM	TL	TPM	TL	TPM	TL
10	Fresatura	0,5	0,25						
20	Centratura			0,5	0,2				
30	Profilatura					3	0,5		
40	Foratura			0,5	0,1				
50	Tornitura							0,25	0,08
totale ore		0,5	0,25	1	0,3	3	1,25	0,25	0,08

Tab.2 Tempi di set up e di lavorazione del pezzo 102

Svolgendo l'elaborazione per tutti i prodotti rappresentanti della famiglia 1 nel campione:

Pezzo	TPM (h)	TMU (h)	TO (h)	Tempo Totale (h)
P101	6,5	34,56	23,04	64,1
P102	4,75	16,27	10,85	31,87
P103	4,75	13,68	9,12	27,55
P104	9,75	40,46	26,98	77,19
P105	9	31,68	21,12	61,8
P106	4,5	20,52	13,68	38,7
P107	6,25	21,31	14,21	41,77
P108	7,5	23,76	15,84	47,1
P109	7,25	28,08	18,72	54,05
P110	8,5	24,9	16,62	50,02
P111	10	33,84	22,56	66,4
P112	13	48,96	32,64	94,6
P113	4,5	18,29	12,19	34,98
P114	7,25	23,76	15,84	46,85
P115	5,75	33,84	22,56	62,15
Somma campione 1	109,25	413,91	275,97	799,13
Stot1*	437	1655,64	1103,88	3196,52

Tab.3 Fabbisogno in ore di lavorazione per il mix di pezzi della famiglia 1 in lotti da 24

*Stot1 stima del tempo totale per l'intera famiglia 1 (Stot1= 4 * Somma campione)

Analogamente per la famiglia 2 si ottiene:

Pezzo	TPM (h)	TMU (h)	TO (h)	Tempo Totale (h)
P201	9,75	30,24	20,16	60,15
P202	5	24,48	16,32	45,8
P203	9	25,2	16,8	51
Somma campione 2	23,75	79,92	53,28	156,95
Stot2**	47,5	159,84	106,56	313,9

Tab.4 Fabbisogno in ore di lavorazione per il mix di pezzi della famiglia 2 in lotti da 24

** Stot2 stima del tempo totale per l'intera famiglia 2 (Stot2= 2 * Somma campione)

Ordinando i tempi rispetto alle macchine utensili del job shop:

Macchina utensile	TPM (h)	TMU (h)	TO (h)	Tempo Totale (h)
fresatrice verticale	18,5	79,776	53,184	151,46
trapanatrice	5,5	20,232	13,488	39,22
profilatrice bimandrino	8,5	27,36	18,24	54,1
profilatrice a 4 mandrini	27	119,52	79,68	226,2
centro di lavoro verticale	11	43,2	28,8	83
centro di lavoro orizzontale	33,5	104,4	69,6	207,5
tornio	5,25	19,44	12,96	37,65
Somma campione 1	109,25	413,928	275,952	799,13
Stot1*	437	1655,712	1103,808	3196,52

Tab.5 Fabbisogno in ore di lavorazione per il mix di pezzi della famiglia 1 in lotti da 24 ripartito sulle macchine adottate

*Stot1 stima del tempo totale per l'intera famiglia 1 (Stot1= 4 * Somma campione)

Macchina utensile	TPM (h)	TMU (h)	TO (h)	Tempo Totale (h)
fresatrice universale	10,5	32,4	21,6	64,5
centro di lavoro orizzontale	9,5	35,28	23,52	68,3
trapanatrice	3,75	12,24	8,16	24,15
Somma campione 2	23,75	79,92	53,28	156,95
Stot2**	47,5	159,84	106,56	313,9

Tab. 6 Fabbisogno in ore di lavorazione per il mix di pezzi della famiglia 2 in lotti da 24 ripartito sulle macchine adottate

** Stot2 stima del tempo totale per l'intera famiglia 2 (Stot2= 2 * Somma campione)

Partendo dai dati del campione individuato è possibile stimare il fabbisogno di tempo per ciascuna macchina per l'intera popolazione dei 66 componenti.

Macchina utensile	TPM (h)	TMU (h)	TO (h)	Tempo Totale (h)
fresatrice verticale	74	319,104	212,736	605,84
fresatrice universale	21	64,8	43,2	129
trapanatrice	29,5	105,408	70,272	205,18
profilatrice bimandrino	34	109,44	72,96	216,4
profilatrice a 4 mandrini	108	478,08	318,72	904,8
centro di lavoro verticale	44	172,8	115,2	332
centro di lavoro orizzontale	153	488,16	325,44	966,6
tornio	21	77,76	51,84	150,6
Somma (Stot)	484,5	1815,552	1210,368	3510,42

Tab.7 Fabbisogno in ore di lavorazione per il mix di pezzi complessivo (4*famiglia 1 + 2*famiglia 2) in lotti da 24 ripartito sulle macchine adottate

Noto il fabbisogno in termini di tempo per la realizzazione di un lotto (24 unità) di ciascun pezzo dell'intero mix (66 componenti) è possibile calcolare il fabbisogno per l'intera produzione annua e di conseguenza il *numero di macchine necessario*. Si ricorda infatti che il volume complessivo viene realizzato con la ripetizione di 3 lotti annui.

Si assumano come disponibilità media delle macchine il valore di 0.8, il coefficiente di rendimento dell'operatore pari a 0.9 e il coefficiente di effettivo utilizzo della macchina (K4, escluse le operazioni di setup, già considerate puntualmente nei tempi) pari a 0.7.

Si considerino 220 giorni/anno di lavoro articolati in 15 ore/giorno (2 turni)

Ex: fresatrice verticale

Tempo totale 1 lotto (24 pezzi): 605.84 h/lotto
 Numero di lotti anno: 3 lotti/anno
 Rendimento complessivo: $0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.7$
 Orario di lavoro (lordo): $220 \text{ gg/anno} \cdot 15 \text{ ore/giorno} = 3.300 \text{ ore/anno}$

$$M'_j = \frac{3 \cdot 605.84}{\frac{0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.7}{3300}} = 1.09$$

Ripetendo il calcolo per tutte le tipologie di macchine del job-shop:

stazione di lavoro	M' _j	M _j
fresatrice verticale	1.09	2
fresatrice universale	0.23	1
trapanatrice	0.37	1
profilatrice bimandrino	0.39	1
profilatrice a 4 mandrini	1.63	2
centro di lavoro verticale	0.60	1
centro di lavoro orizzontale	1.74	2
tornio	0.27	1
somma	6.33	11

Con M'_j numero esatto di macchine necessarie e M_j intero superiore.

Si possono quindi calcolare i tassi di impiego teorici delle singole macchine:

stazione di lavoro	t's
fresatrice verticale	0.546
fresatrice universale	0.233
trapanatrice	0.370
profilatrice bimandrino	0.390
profilatrice a 4 mandrini	0.816
centro di lavoro verticale	0.599
centro di lavoro orizzontale	0.872
tornio	0.272

Tab.9 Tassi di saturazione delle macchine

Si può infine proporre la stima del tasso di utilizzo dell'intero job shop:

$$U_{\text{jobshop}} = \frac{\sum_j t's(j)M_j}{\sum_j M_j} = 0.6008$$

*Valutazione economica configurazione job-shop**Impianti*

macchina	Costo acquisto (€)	Rata ammort* (€/anno)	Costi variabili** (€/anno)	Costi tot 1macchina (€/anno)	macchine	Costi tot (€/anno)	N° operatori
Fres vert	130.000	16.250	9.200	25.450	2	50.900	2
Fres univ	145.000	18.125	11.300	29.425	1	29.425	1
Trapanatrice	30.000	3.750	3.700	7.450	1	7.450	1
Profil bimandr	206.000	25.750	10.200	35.950	1	35.950	1
Profil 4 mandr	261.000	32.625	13.700	46.325	2	92.650	2
Centro lav vert	195.000	24.375	16.000	40.375	1	40.375	1
Centro lav oriz	182.000	22.750	15.100	37.850	2	75.700	2
tornio	38.000	4.750	9.300	14.050	1	14.050	1
						346.500	11

*Si consideri un ammortamento in 8 anni (il piano è ottenuto in modo semplificato)

** tengono in conto costo per energie, manutenzioni, ecc.

Personale impegnato

Oltre agli operatori di macchina, risultano impiegati un responsabile di officina e un operatore addetto alla preparazione degli utensili (addetto tool room). Tutti gli operatori indicati si riferiscono ad un solo turno lavorativo.

Quindi:

11 operatori di macchina specializzati	39.000 €/op anno	429.000 €/anno
1 operatore di tool room	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
1 responsabile di officina	65.000 €/op anno	65.000 €/anno
	totale	539.000 €/anno*

*per turno

Complessivamente:

Costo totale annuo impianti	346.500 €/anno
Costo totale annuo personale	539.000 €/anno turno * 2 turni/giorno
totale	1.424.500 €/anno

Rispetto alla produzione di 4752 pz/anno si può stimare un costo del prodotto (esclusivamente dovuto ai costi variabili legati al job shop; *per il calcolo del costo complessivo di prodotto andrebbero calcolate altre aliquote*)

Costo unitario pezzo: $1.424.500 / 4752 = 299.77 \text{ €/pz}$

Nota

Non sono stati stimati i costi di movimentazione da e per le macchine in quanto presenti (nella stessa configurazione) anche nell'ipotesi di FMS.

2. Dimensionamento di un sistema produttivo FMS

In questa sezione viene valutata l'ipotesi di dimensionamento di un sistema flessibile di produzione FMS in grado di realizzare i 66 componenti del mix nella numerosità richiesta (72 pz/anno).

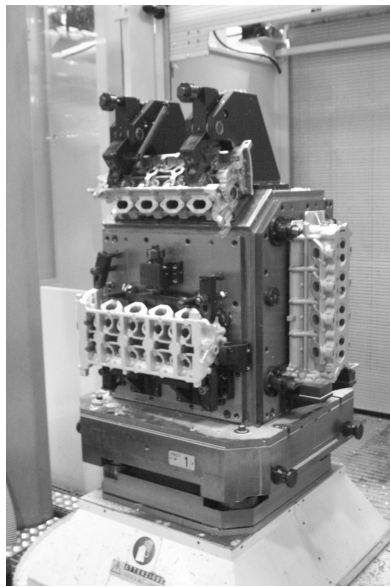
Dall'analisi dei cicli di fabbricazione necessari per la realizzazione dei prodotti si opta per la scelta delle seguenti tipologia di macchine operatrici all'interno del sistema:

- A spianatrice a 3 assi con tavola fissa e mandrino in posizione verticale
- B centro di lavoro verticale a 3 assi con tavola fissa
- C centro di profilatura a 5 assi con tavola girevole controllata, mandrino ad asse mobile controllato
- D centro di lavoro orizzontale a 3 assi con tavola non controllata

Ogni macchina possiede cambio utensili e cambio pallet automatici.

Nel caso di lavorazione su FMS i particolari vengono "piazzati" su pallet in differenti posizioni per essere lavorati sulla macchina operatrice. Il piazzamento non è strettamente legato alla macchina stessa: lo stesso piazzamento può essere impiegato da più macchine ed al contrario la stessa macchina può richiedere per fasi diverse differenti piazzamenti.

I piazzamenti del pezzo sul pallet sono eseguiti da operatori in tempo mascherato.



Esempio di pallet con differenti piazzamenti

L'utilizzo di macchine operatrici flessibili richiede una rielaborazione dei cicli di fabbricazione in modo da individuare la nuova sequenza di macchine da impiegare, i relativi tempi e piazzamenti.

Anche nella progettazione del sistema FMS si farà riferimento al medesimo campione formato da 15 pezzi della famiglia 1 e 3 pezzi della famiglia 2.

I dati complessivi poi verranno stimati a partire dal campione sopradefinito.

Dalla rielaborazione delle fasi e dei cicli sulle nuove macchine (del sistema FMS) si ottiene la situazione dei piazzamenti espressa in tabella 10: in corsivo sono rappresentate le macchine che impiegano quel tipo di piazzamento e il corrispondente numero complessivo di piazzamenti per prodotto.

La tabella 11 presenta i tempi di macchina utensile (TMU) e di setup (TMS) per i singoli pezzi.

I tempi TMU contengono i tempi per asportazione truciolo, cambio e avanzamento "in rapido" degli utensili, rotazioni della tavola e del mandrino.

Il tempo di setup esprime la durata dell'intervallo di cambio pallet eseguito completamente in automatico dalla macchina (a macchina ferma).

LOGISTICA INDUSTRIALE LA

Il sistema FMS non prevede l'impiego di operatori addetti al setup delle macchine operatrici inteso come preparazione della macchina alla lavorazione entrante.

Codice parte	N° piazz.	Piazz.1	Piazz.2	Piazz.3	Piazz.4	Piazz.5	Piazz.6
PZ. 101	5	A-B	C	C	D	D	
PZ. 102	3	A-B	C-D	D			
PZ. 103	3	A-B	C-D	D			
PZ. 104	4	A-B	C	C-D	D		
PZ. 105	4	A-B	C	C-D	D		
PZ. 106	3	A-B	C-D	D			
PZ. 107	4	A-B	C	C-D	D		
PZ. 108	3	A-B	C-D	D			
PZ. 109	3	A-B	C-D	D			
PZ. 110	5	A-B	C	C	D	D	
PZ. 111	4	C-B	C	D	D		
PZ. 112	6	C-B	C	C	D	D	D
PZ. 113	3	A-B	C-D	D			
PZ. 114	4	C-B	C	D	D		
PZ. 115	4	C-D	C	D	D		
Tot	57						
PZ. 201	2	A-B	D				
PZ. 202	1	D					
PZ. 203	2	D	C-D				
Tot	5						

Tab.10 - Sequenza delle macchine per ogni piazzamento

Codice parte	TMU [minuti]					TMS [secondi]				
	A	B	C	D	Totale	A	B	C	D	Totale
PZ. 101	3	6	90	21	120	50	70	150	180	450
PZ. 102	3	5	36	5	49	50	70	70	120	310
PZ. 103	5	5	72	5	87	50	70	70	120	310
PZ. 104	5	5	60	21	91	50	70	250	140	510
PZ. 105	3	6	108	18	135	50	70	150	190	460
PZ. 106	2	3	30	7	42	50	70	70	170	360
PZ. 107	4	3	27	18	52	50	70	160	170	450
PZ. 108	3	6	90	24	123	50	80	70	280	480
PZ. 109	6	5	78	24	113	50	70	80	210	410
PZ. 110	18	6	57	24	105	50	70	190	220	530
PZ. 111		12	60	24	96		100	150	350	500
PZ. 112	0	14	129	54	197		100	240	350	690
PZ. 113	2	3	21	24	50	50	70	110	210	440
PZ. 114		5	35	30	70		70	170	310	550
PZ. 115			47	30	77			150	220	370
Totale x 4*	216	336	3760	1316	5628	2200	4200	8320	12560	27280
PZ. 201	3	4		66	66	50	70		190	310
PZ. 202				54	54				220	220
PZ. 203			12	30	42			70	220	290
Totale x 2**	6	8	24	300	338	100	140	140	1260	1640

Tab.11 - Tempi macchina TMU in minuti e tempi secondari TMS in secondi per ogni parte del mix sulle macchine utensili tipo A, B, C, D

* il campione analizzato per la famiglia 1 rappresenta il 25% dell'universo dell'intera popolazione della famiglia 1

** il campione analizzato per la famiglia 2 rappresenta il 50% dell'intera popolazione della famiglia 2

Utilizzando i dati TMU e TMS è possibile calcolare il fabbisogno in termini di tempo per ciascuna *tipologia* di macchina operatrice considerata.

Macchina operatrice tipo A

$$TMU(A) = [TMU(A)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMU(A) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = [216+6] \times 72 = 15984 \text{ min/anno}$$

$$TMS(A) = [TMS(A)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMS(A) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = [2200+100] \times 72 = 165600 \text{ sec/anno}$$

$$FT(A) = TMU(A) + TMS(A) = 18744 \text{ min/anno}$$

Macchina operatrice tipo B

$$TMU(B) = [TMU(B)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMU(B) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 24769 \text{ min/anno}$$

$$TMS(B) = [TMS(B)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMS(B) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 312480 \text{ sec/anno}$$

$$FT(B) = TMU(B) + TMS(B) = 29976 \text{ min/anno}$$

Macchina operatrice tipo C

$$TMU(C) = [TMU(C)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMU(C) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 272488 \text{ min/anno}$$

$$TMS(C) = [TMS(C)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMS(C) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 609120 \text{ sec/anno}$$

$$FT(C) = TMU(C) + TMS(C) = 282600 \text{ min/anno}$$

Macchina operatrice tipo D

$$TMU(D) = [TMU(D)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMU(D) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 116352 \text{ min/anno}$$

$$TMS(D) = [TMS(D)1^{\circ} \text{ Fam.} + TMS(D) 2^{\circ} \text{ Fam.}] \times Q = 995040 \text{ sec/anno}$$

$$FT(D) = TMU(D) + TMS(D) = 132936 \text{ min/anno}$$

Analogamente al caso del job shop noto il monte ore richiesto al sistema FMS è possibile calcolare il numero di macchine operatrici che lo compongono.

Conservativamente si considera il sistema utilizzato per 2 turni al giorno per un totale di 15 ore/giorno. Si mantiene il medesimo orario di lavoro del sistema job shop. Bisogna subito osservare come in genere i sistemi automatici flessibili possono essere facilmente ed utilmente impiegati su tre turni giornalieri (usualmente 22-23 ore al giorno)

Tassi di correzione

Disponibilità di impianto	0.8
Scarto sui particolari prodotti	0.06 e quindi (1-s) = 0,94
Interferenza movimento utensili	0.94
Interferenza movimento pallets	0.9

Ex: macchine operatrici tipo A (spianatrice a 3 assi con tavola fissa e mandrino in posizione verticale)

Tempo totale lavorazione:	18.744 min/anno
Rendimento complessivo:	$0.8 \cdot 0.94 \cdot 0.94 \cdot 0.9$
Orario di lavoro (lordo):	$220 \text{ gg/anno} \cdot 15 \text{ ore/giorno} = 3.300 \text{ ore/anno}$

$$M'j = \frac{18744}{60 \cdot 3300} = 0.15$$

Estendendo il calcolo a tutte e 4 le tipologie di macchine si ottiene il quadro del numero teorico $M'j$ di macchine, il numero reale Mj ed il tasso *teorico* di impiego $t's(j)$:

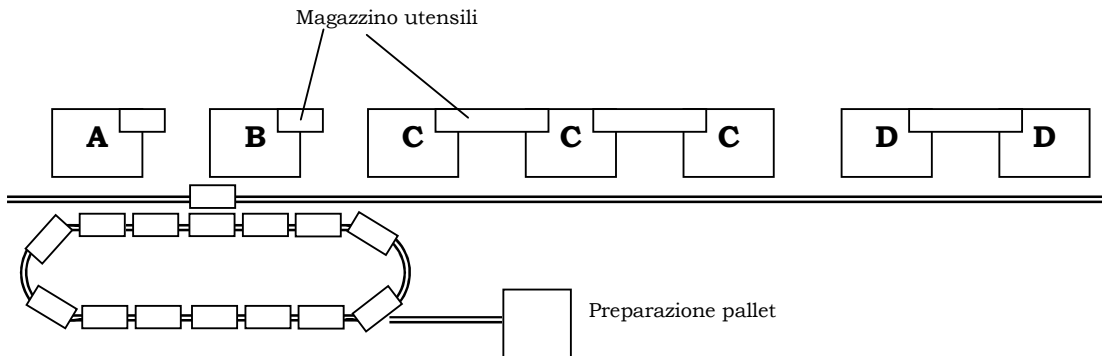
Tipologia di macchina	$M'j$	Mj	$t's(j)$
A	0.15	1	$0.15/1=0.15$
B	0.24	1	$0.24/1=0.24$
C	2.24	3	$2.24/3=0.75$
D	1.05	2	$1.05/2=0.52$

Si può immediatamente calcolare il tasso teorico di impiego del sistema FMS:

$$U_{FMS} = \frac{\sum_j t' s(j) M_j}{\sum_j M_j} = 0.527$$

Configurazione del sistema FMS

Il sistema è configurato con il numero delle macchine operatrici ricavate al passo precedente. La struttura planimetrica scelta è quella rettilinea, con macchine allineate, servite da un sistema di navetta frontale che scambia i pallet con un carosello piano. Il carosello è servito dalla zona di preparazione dei pallet (ove un operatore provvede al piazzamento dei pezzi sugli attrezzi portapezzo).



Valutazione economica configurazione FMS

Impianti

macchina	Costo acquisto (€)	Rata ammort* (€/anno)	Costi variabili** (€/anno)	Costi tot 1macchina (€/anno)	macchine	Costi tot (€/anno)
Macc tipo A	390.000	48.750	13.100	61.850	1	61.850
Macc tipo B	470.000	58.750	12.700	71.450	1	71.450
Macc tipo C	400.000	50.000	15.200	65.200	3	195.600
Macc tipo D	460.000	57.500	8.700	66.200	2	132.400
Sistema di trasporto	260.000	32.500	5.200	37.700	1	37.700
carosello	31.000	3.875	3.200	7.075	1	7.075
						506.075

*Si consideri un ammortamento in 8 anni (il piano è ottenuto in modo semplificato)

** tengono in conto costo per energie, manutenzioni, ecc.

Personale

Bisogna immediatamente fare un'osservazione relativa all'attrezzamento dei pallet portapezzo. I pezzi vengono piazzati sul pallet manualmente in tempo "mascherato" per il sistema FMS. Dalla tabella 10 si deriva:

famiglia1, campione di 15 pezzi (su 60): 57 piazzamenti

famiglia2, campione di 3 pezzi (su 6): 5 piazzamenti

Si possono quindi fare delle stime sul numero dei piazzamenti per l'intero mix (66 prodotti):

numero piazzamenti complessivi: NP(1)= 57*4 + 5*2 = 238 piazzamenti

NP(1) peraltro è riferito ad una unità per ciascuno dei 66 prodotti differenti. Per calcolare quindi l'entità annua dei piazzamenti richiesti NP(72) si deve considerare l'effettiva produzione di 72 pezzi/anno per tipo.

$$NP(72)=NP(1) * 72 = 238*72 = 17.136 \text{ piazzamenti/anno}$$

Da stime aziendali i piazzamenti richiedono l'intervento manuale dell'operatore per $T_{1P} = 2\text{min e } 45 \text{ sec (2.75 min)}$.

Quindi il fabbisogno complessivo in termini di tempo per l'insieme dei piazzamenti ammonta a:

$$T_{tot \text{ piazz}} = T_{1P} * NP(72) = 47.124 \text{ min/anno} = 785.4 \text{ ore/anno}$$

Considerando $T_{tot \text{ piazz}}$ in termini di ore giornaliere (su un monte di 220 giorni anno) si ottiene:

$$N_{ore/g \text{ piazz}} = T_{tot \text{ piazz}} / 220 = 3.57 \text{ ore/giorno}$$

Di conseguenza si prevede l'esecuzione del piazzamento dei particolari sui pallet da parte di un operatore dedicato, impegnato in turno giornaliero per 8 ore al giorno. Lo sfasamento fra le ore lavorative del sistema FMS e dell'operatore "attrezzista" è compensato dalla presenza del carosello portapallet.

In definitiva il sistema FMS vede impegnati su 2 turni:

2 conduttori di impianto	45.000 €/op anno	90.000 €/anno
1 operatore di tool room	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
1 responsabile di officina	65.000 €/op anno	65.000 €/anno
	totale	200.000 €/anno

e su un turno:

1 attrezzista	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
---------------	------------------	---------------

Quindi il costo del personale per il sistema FMS ammonta a:

$$200.000 * 2 + 45.000 = \mathbf{445.000 \text{ €/anno}}$$

Complessivamente:

Costo totale annuo FMS	506.075 €/anno
Costo totale annuo personale	445.000 €/anno
totale	951.075 €/anno

Rispetto alla produzione di 4752 pz/anno si può stimare un costo del prodotto (esclusivamente dovuto ai costi variabili legati a FMS; per il calcolo del costo complessivo di prodotto andrebbero calcolate altre aliquote)

$$\text{Costo unitario pezzo: } 951.075 / 4752 = 200.14 \text{ €/pz}$$

Note importanti

Non sono stati stimati i costi di movimentazione da e per le macchine in quanto presenti (nella stessa configurazione) anche nell'ipotesi di job shop.

Nelle valutazioni condotte sono state assunte invarianti (fra il sistema job shop e FMS) le configurazioni riguardanti il parco attrezzi, il parco utensili e gli altri eventuali costi fissi incidenti.

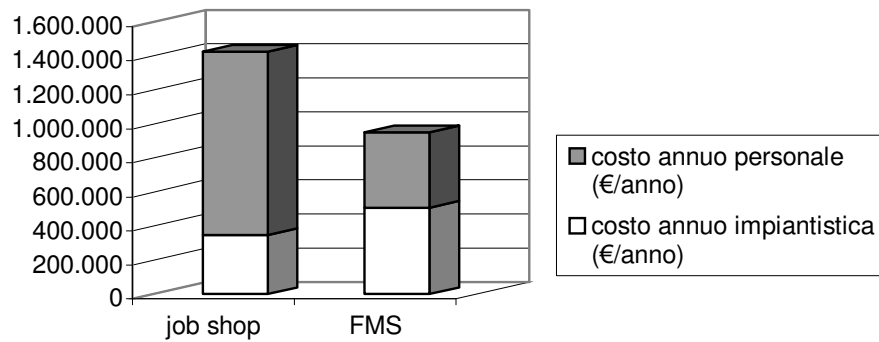
Confronto finale

Con le ipotesi assunte si può concludere che:

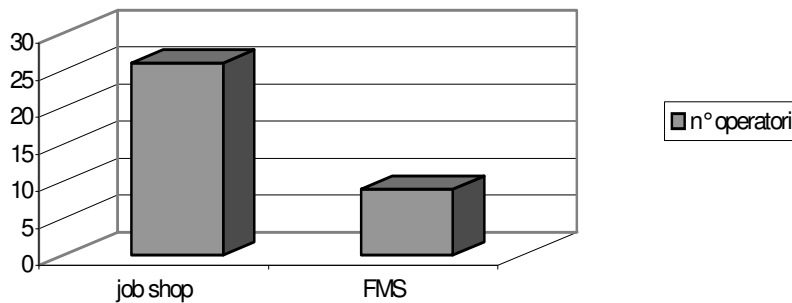
Costo medio al pezzo sistema job shop : 299.77 €/pz
 Costo medio al pezzo sistema FMS : 200.14 €/pz (-33.2%)

Inoltre non appaiono monetizzati, ma sono usualmente rilevabili, vantaggi in termini di qualità del prodotto e facilità nel controllo dell'avanzamento della produzione a favore del sistema FMS.

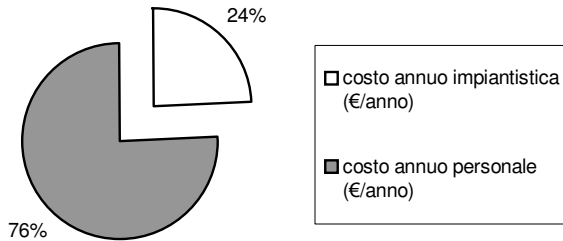
costi annui (€/anno)



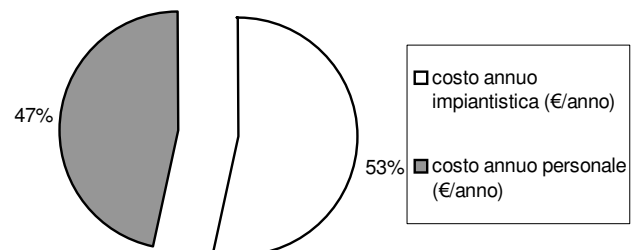
n° operatori



distribuzione costi job shop



distribuzione costi FMS



3. Sfruttamento del sistema FMS per 3 turni_giorno (22 ore_giorno)

In genere i sistemi FMS possono essere sfruttati in maniera intensiva, quindi può essere elaborata un'alternativa che prevede (per la realizzazione dei 72 pz/anno dei 66 componenti differenti) l'impiego del sistema automatico flessibile per 22 ore/giorno.

Per quanto riguarda il calcolo delle risorse necessarie si può impiegare l'approccio già adottato in precedenza, con l'unica variante dell'impiego delle 22 ore/giorno.

Ex: macchine operatrici tipo A (spianatrice a 3 assi con tavola fissa e mandrino in posizione verticale)

Tempo totale lavorazione: 18.744 min/anno
 Rendimento complessivo: $0.8 \cdot 0.94 \cdot 0.94 \cdot 0.9$
 Orario di lavoro (lordo): 220 gg/anno * 22 ore/giorno = 4.840 ore/anno

$$M'j = \frac{18744}{\frac{0.8 \cdot 0.94 \cdot 0.94 \cdot 0.9}{60 \cdot 4840}} = 0.10$$

Estendendo il calcolo a tutte e 4 le tipologie di macchine si ottiene il quadro del numero teorico $M'j$ di macchine, il numero reale Mj ed il tasso *teorico* di impiego $t's(j)$:

Tipologia di macchina	$M'j$	Mj	$t's(j)$
A	0.10	1	$0.10/1=0.10$
B	0.16	1	$0.16/1=0.16$
C	1.53	2	$1.53/2=0.77$
D	0.72	1	$0.72/1=0.72$

Visto il differente numero di macchine impegnate si ottiene un nuovo quadro dei costi. I costi variabili si ritengono proporzionali alla produttività prevista e quindi in questo caso sono i medesimi del caso del sistema FMS impegnato su 2 turni.

macchina	Costo acquisto (€)	Rata ammort* (€/anno)	Costi variabili** (€/anno)	Costi tot 1macchina (€/anno)	macchine	Costi tot (€/anno)
Macc tipo A	390.000	48.750	13.100	61.850	1	61.850
Macc tipo B	470.000	58.750	12.700	71.450	1	71.450
Macc tipo C	400.000	50.000	15.200	65.200	1	65.200
Macc tipo D	460.000	57.500	8.700	66.200	2	132.400
Sistema di trasporto	260.000	32.500	5.200	37.700	1	37.700
carosello	31.000	3.875	3.200	7.075	1	7.075
						375.675

*Si consideri un ammortamento in 8 anni (il piano è ottenuto in modo semplificato)

** tengono in conto costo per energie, manutenzioni, ecc.

Per quanto riguarda il personale bisogna ricordare che la MdO è impegnata su 3 turni, e questo provoca un aumento del 40% sui costi del 3° turno (orario notturno).

In definitiva il sistema FMS vede impegnati su 3 turni:

2 conduttori di impianto	45.000 €/op anno	90.000 €/anno
1 operatore di tool room	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
1 responsabile di officina	65.000 €/op anno	65.000 €/anno
	totale	200.000 €/anno

e su un turno:

1 attrezzista	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
---------------	------------------	---------------

Quindi il costo del personale per il sistema FMS ammonta a:

$$200.000 \cdot 2 + 200.000 \cdot 1.4 \cdot 1 + 45.000 = \mathbf{725.000 \text{ €/anno}}$$

Complessivamente:

Costo totale annuo FMS	375.675 €/anno
Costo totale annuo personale	725.000 €/anno
totale	1.100.675 €/anno

Rispetto alla produzione di 4752 pz/anno si può stimare un costo del prodotto (esclusivamente dovuto ai costi legati a FMS; per il calcolo del costo complessivo di prodotto andrebbero calcolate altre aliquote)

$$\text{Costo unitario pezzo: } 1.100.675 / 4752 = 231.62 \text{ €/pz}$$

In conclusione questa configurazione porta ad un costo medio per pezzo prodotto superiore rispetto alla configurazione che prevede i 2 turni/giorno.

4. Calcolo dei "limiti produttivi" e del corrispondente costo medio del pezzo

Nelle tre configurazioni studiate (job shop su 2 turni, FMS su 2 turni, FMS su 3 turni) si può valutare la produzione massima ottenibile e quindi l'impatto sui costi senza la modifica della configurazione impiantistica.

- *Configurazione #1: Job Shop*

Alla luce dei rendimenti impostati, e rispettando il lavoro su 2 turni/giorno, per ciascuna macchina sono disponibili effettivamente:

$$3300 \cdot 0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.7 = 1663.2 \text{ ore/anno}$$

Questo tempo disponibile, per ciascuna macchina, consente la produzione di NL lotti da 24 pezzi ciascuno (vincolo imposto dal job shop) con un tempo di preparazione per lotto TPM*.

Il tempo di produzione di ciascun pezzo su ogni singola macchina può essere derivato direttamente dalla tabella 7.

Macchina utensile	TPM* (h)	TMU* (h)	TO* (h)	TL/pz (h)
fresatrice verticale	74	319,104	212,736	22,16
fresatrice universale	21	64,8	43,2	4,5
trapanatrice	29,5	105,408	70,272	7,32
profilatrice bimandrino	34	109,44	72,96	7,6
profilatrice a 4 mandrini	108	478,08	318,72	33,2
centro di lavoro verticale	44	172,8	115,2	12
centro di lavoro orizzontale	153	488,16	325,44	33,9
tornio	21	77,76	51,84	5,4

Tab.12 Fabbisogno in ore di lavorazione per 1 pezzo ripartito sulle macchine adottate
(* grandezze riferite a 1 lotto da 24 pezzi) – $TL/pz = (TMU* + TO*)/24$

Per ciascun tipo di macchina, ricordandone il numero Mj previsto nella configurazione in oggetto, si può determinare il numero massimo di lotti NL' producibili nel tempo a disposizione attraverso una semplice equazione.

Per la fresatrice verticale:

$$1663,2 \cdot Mj = 74 \cdot NL' + 22,16 \cdot 24 \cdot NL'$$

da cui:

$$NL' = \frac{1663.2 \cdot 2}{74 + 22.16 \cdot 24} = 5.49$$

Quindi il numero di lotti producibili è l'intero inferiore di NL' e quindi nel caso di specie NL = 5 lotti/anno. A questo punto si può calcolare il tasso di utilizzo effettivo ed il numero di pezzi producibili.

Ribadendo il ragionamento per tutte le macchine si ottiene:

Macchina utensile	Mj	TPM* (h)	Tlav/pezzo (h)	NL' (lotti/anno)	NL (lotti/anno)
fresatrice verticale	2	74	22,16	5,49	5
fresatrice universale	1	21	4,5	12,89	12
trapanatrice	1	29,5	7,32	8,11	8
profilatrice bimandrino	1	34	7,6	7,69	7
profilatrice a 4 mandrini	2	108	33,2	3,68	3
centro di lavoro verticale	1	44	12	5,01	5
centro di lavoro orizzontale	2	153	33,9	3,44	3
tornio	1	21	5,4	11,04	11

Tab.13 numero massimo di lotti producibili per anno

Dalla tabella precedente emerge come le 2 profilatrici a 4 mandrini stabiliscano il vincolo produttivo a 3 lotti /anno (proprio la produttività richiesta). In virtù di questa osservazione, per la configurazione job shop, *non risulta possibile aumentare la produzione senza modifiche impiantistiche e/o sulla politica dei 24 pezzi/lotto.*

- *Configurazione #2: FMS su 2 turni/giorno*

In questo caso cade il concetto del lotto fisso da 24 pezzi, il sistema può realizzare pezzi nel numero massimo possibile senza avere vincoli sulle quantità.

Sfruttando i dati della tabella 11 si possono ricavare i tempi di macchina necessari per ogni prodotto realizzato (per le 4 tipologie richieste). Si ottiene quindi:

tipologia di macchina	Mj	Tlav/pezzo (min)
A	1	$\left[(216 + 6) + \frac{2200 + 100}{60} \right] = 260,3$
B	1	$\left[(336 + 8) + \frac{4200 + 140}{60} \right] = 416,3$
C	3	$\left[(3760 + 24) + \frac{8320 + 140}{60} \right] = 3925,0$
D	2	$\left[(1316 + 300) + \frac{12560 + 1260}{60} \right] = 1846,3$

In base al tempo a disposizione e al numero Mj di macchine previste si può ricavare il numero di pezzi producibili da ciascuna macchina.

Nell'ipotesi dei 2 turni lavorativi al giorno (15 h/giorno) su 220 giorni/anno e alla luce dei rendimenti ipotizzati si hanno a disposizione:

$$220 \text{ giorni/anno} \cdot 15 \text{ h/giorno} \cdot 0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,90 = 2112 \text{ h/anno} = 126.720 \text{ min/anno}$$

Quindi i pezzi producibili diventano:

Tipologia di macchina	Mj	P (pz/anno)
A	1	$\frac{126720 \cdot 1}{260,3} = 486,82$
B	1	$\frac{126720 \cdot 1}{416,3} = 304,4$
C	3	$\frac{126720 \cdot 3}{3925,0} = 96,86$
D	2	$\frac{126720 \cdot 2}{1846,3} = 137,3$

Quindi il vincolo è rappresentato dalle 3 macchine di tipo C, e questo consente una produzione massima di 96 pz/anno per ciascun tipo di componente.

Di conseguenza varierà anche il tempo richiesto per l'attrezzaggio, ricordando che:

numero piazzamenti: $NP(1) = 57 \cdot 4 + 5 \cdot 2 = 238$ piazzamenti (per 1 prodotto di ogni componente)

$NP(96) = NP(1) \cdot 96 = 238 \cdot 96 = 22.848$ piazzamenti/anno

Da stime aziendali i piazzamenti richiedono l'intervento manuale dell'operatore per $T_{1P} = 2\text{min}$ e 45 sec (2.75 min).

Quindi il fabbisogno complessivo in termini di tempo per l'insieme dei piazzamenti ammonta a:

$T_{\text{tot piazz}} = T_{1P} \cdot NP(96) = 62.832 \text{ min/anno} = 1047.2 \text{ ore/anno}$

Considerando $T_{\text{tot piazz}}$ in termini di ore giornaliere (su un monte di 220 giorni anno) si ottiene:

$N_{\text{ore/g piazz}} = T_{\text{tot piazz}} / 220 = 4.76 \text{ ore/giorno}$

Si ritiene che anche in questo caso i piazzamenti possano essere eseguiti da un operatore impegnato in un solo turno di 8 ore.

Sul piano economico quindi si ha che l'aumento di produzione non produce variazioni sui costi fissi ma introduce un aumento sui costi variabili.

Questo incremento può essere stimato pari all'aumento della produttività dell'impianto ($96/72=1,33$). Quindi:

macchina	Costo acquisto (€)	Rata ammort* (€/anno)	Costi variabili** (€/anno)	Costi tot 1macchina (€/anno)	macchine	Costi tot (€/anno)
Macc tipo A	390.000	48.750	17.467	66.217	1	66.217
Macc tipo B	470.000	58.750	16.933	75.683	1	75.683
Macc tipo C	400.000	50.000	20.267	70.267	3	210.801
Macc tipo D	460.000	57.500	11.600	69.100	2	138.200
Sistema di trasporto	260.000	32.500	6.933	39.433	1	39.433
carosello	31.000	3.875	4.267	8.142	1	8.142
						538.476

*Si consideri un ammortamento in 8 anni (il piano è ottenuto in modo semplificato)

** tengono in conto costo per energie, manutenzioni, ecc.

La configurazione del personale e quindi i costi corrispondenti rimane invariata rispetto alla produzione di 72 pz/anno per ciascun tipo.

Rispetto alla produzione di 96 pz/anno per ciascuna tipologia e quindi 6336 pz/anno si può stimare un costo del prodotto (esclusivamente dovuto ai costi legati a FMS; per il calcolo del costo complessivo di prodotto andrebbero calcolate altre aliquote)

Complessivamente:

Costo totale annuo FMS	538.476 €/anno
Costo totale annuo personale	445.000 €/anno
totale	983.476 €/anno

Costo unitario pezzo: $983.476 / 6336 = 155.22 \text{ €/pz}$

In questo caso, salvo che l'aumento di produzione sia "vendibile", si otterrebbe una sensibile riduzione del costo medio unitario.

- *Configurazione #3: FMS su 3 turni/giorno*

L'impiego del terzo turno giornaliero (22 ore/giorno) produce un aumento delle ore a disposizione del sistema FMS:

$$220 \text{ giorni/anno} * 22 \text{ h/giorno} * 0,8 * 0,94 * 0,94 * 0,90 = 3097,6 \text{ h/anno} = 185.856 \text{ min/anno}$$

Con il medesimo approccio utilizzato in precedenza si può ricavare il numero massimo di pezzi producibili per ogni tipologia di macchina.

Si ricorda che in questa configurazione il sistema FMS ha un numero di macchine inferiore rispetto alla configurazione della precedente alternativa.

Tipologia di macchina	Mj	P (pz/anno)
A	1	$\frac{185856 \cdot 1}{260,3} = 714,0$
B	1	$\frac{185856 \cdot 1}{416,3} = 446,5$
C	2	$\frac{185856 \cdot 3}{3925,0} = 94,7$
D	1	$\frac{185856 \cdot 1}{1846,3} = 100,7$

Ancora una volta il vincolo è rappresentato dalle macchine di tipo C, e questo consente una produzione massima di 94 pz/anno per ciascun tipo.

L'impatto sull'attrezzaggio può essere stimato come segue:

numero piazzamenti: $NP(1) = 57 \cdot 4 + 5 \cdot 2 = 238$ piazzamenti (per 1 prodotto di ogni componente)

$$NP(94) = NP(1) * 94 = 238 * 94 = 22.372 \text{ piazzamenti/anno}$$

Da stime aziendali i piazzamenti richiedono l'intervento manuale dell'operatore per $T_{1P} = 2 \text{ min}$ e 45 sec (2.75 min).

Quindi il fabbisogno complessivo in termini di tempo per l'insieme dei piazzamenti ammonta a:

$$T_{tot} \text{ piazz} = T_{1P} * NP(94) = 61.523 \text{ min/anno} = 1025,4 \text{ ore/anno}$$

LOGISTICA INDUSTRIALE LA

Considerando T_{tot} piazz in termini di ore giornaliere (su un monte di 220 giorni anno) si ottiene:

$$N_{ore/g \text{ piazz}} = T_{tot} \text{ piazz} / 220 = 4,66 \text{ ore/giorno}$$

Anche in questo caso il piazzamento può essere effettuato da 1 operatore in 1 solo turno.
Peraltro la configurazione della MdO stessa cambia decisamente per l'introduzione del terzo turno notturno. Il sistema FMS vede impegnati su 3 turni:

2 conduttori di impianto	45.000 €/op anno	90.000 €/anno
1 operatore di tool room	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
1 responsabile di officina	65.000 €/op anno	65.000 €/anno
totale		200.000 €/anno

e su un turno:

1 attrezzista	45.000 €/op anno	45.000 €/anno
---------------	------------------	---------------

Quindi il costo del personale per il sistema FMS ammonta a:

$$200.000 * 2 + 200.000 * 1,4 * 1 + 45.000 = \mathbf{725.000 \text{ €/anno}}$$

Il terzo turno è valorizzato con un coefficiente maggiorativo pari a 1,4

Dal punto di vista degli impianti si ha un aumento di costi variabili che può essere stimato pari all'aumento della produttività dell'impianto ($94/72=1,31$). Quindi:

macchina	Costo acquisto (€)	Rata ammort* (€/anno)	Costi variabili** (€/anno)	Costi tot 1macchina (€/anno)	macchine	Costi tot (€/anno)
Macc tipo A	390.000	48.750	17.204	65.954	1	65.954
Macc tipo B	470.000	58.750	16.678	75.428	1	75.428
Macc tipo C	400.000	50.000	19.962	69.962	2	139.924
Macc tipo D	460.000	57.500	11.426	68.926	1	68.926
Sistema di trasporto	260.000	32.500	6.829	39.329	1	39.329
carosello	31.000	3.875	4.203	8.078	1	8.078
						397.639

*Si consideri un ammortamento in 8 anni (il piano è ottenuto in modo semplificato)

** tengono in conto costo per energie, manutenzioni, ecc.

La produzione di 94 pz/anno per tipo consente una produttività annua di 6.204 pezzi

Complessivamente:

Costo totale annuo FMS	397.639 €/anno
Costo totale annuo personale	725.000 €/anno
totale	1.122.639 €/anno

$$\text{Costo unitario pezzo: } \mathbf{1.122.639} / 6.204 = 180,95 \text{ €/pz}$$

Anche in questo caso le valutazioni sono subordinate alla vendita dei pezzi prodotti in esubero.

5. Valutazioni conclusive

Nelle sezioni precedenti sono state elaborate alternative differenti sia in termini di configurazione impiantistica sia in termini di produttività.

In estrema sintesi i principali risultati sono riassumibili nella seguente tabella:

Config.	Orario (h/giorno)	condizione di progetto		condizione limite	
		Produttività* (pz/anno)	Costo medio unitario (€/pz)	Produttività massima* (pz/anno)	Costo medio unitario corrispondente(€/pz)
Job Shop	15	72	299,77	72	299,77
FMS(1)	15	72	200,14	96	155,92
FMS(2)	22	72	231,62	94	180,95

* per ogni componente (in totale 66)

Nota

FMS (1) prevede una configurazione di macchine del tipo 1_1_3_2 (A_B_C_D)

FMS (2) prevede una configurazione di macchine del tipo 1_1_2_1 (A_B_C_D)

In definitiva la configurazione produttiva mediante un FMS nell'architettura 1_1_3_2 consente il minor costo unitario medio sia con la produttività di progetto (72 pezzi/anno) che nelle condizioni di massimo sfruttamento degli impianti.