

Logistica Industriale 2

lunedì 6 maggio 2024 00:57

OBETTIVO: portare i prodotti/servizi al mercato nel rispetto del livello di servizio concordato al minor costo possibile

INCIDENZA COSTO OPERATIONS LUNGO LA SUPPLY CHAIN (%)

- Più un valore medio di circa il 20%
- Dipende dal settore merceologico, dal tipo di azienda (piccola/grande), dal valore del prodotto, tipo di canale distributivo
- Riducendo la quantità i costi della logistica diventano incompressibili (più probabile che sia un rischio che riguarda le aziende piccole)
- Le aziende piccole hanno una incidenza dei costi delle operations più alta rispetto a quelle grandi
- L'incidenza dei costi delle operations incide di più su un prodotto poco costoso rispetto a quello molto costoso

INT. 1

Cosa contribuisce alla costruzione di un livello di servizio?

Il livello di servizio è costituito da 4 elementi:

1. Data di consegna (più rilevante 45%)
2. Quantità (5%)
3. Qualità (15%)
4. Danneggiamenti (30%)

La merce viene distribuita attraverso diversi canali distributivi, più o meno diretti

- Dal produttore al cliente direttamente tramite uno spazio aziendale
- Dal produttore, dettagliante, fino ad arrivare al cliente
- Dal produttore, grossista, dettagliante, fino al cliente
- Dal produttore, agente o mediatore, grossista, dettagliante, fino al cliente

Le aziende usano contemporaneamente più canali distributivi per aumentare le opportunità di vendita (pochi casi di un monocalcanale distributivo: Online). Inoltre, più è diretto il canale distributivo e meno è costoso

Le attività legate al flusso del materiale che vengono poste in essere lungo il canale di distribuzione riguardano:

- Stoccaggio merce
- Preparazione ordini per il cliente a valle del canale
- Rotura dell'unità di carico

INCOTERMS - INTERNATIONAL COMMERCIAL TERMS

Regole nazionalizzate che pagano fino a dove

- **EXW o FRANCO FABBRICA**, le spese sono tutte a carico del compratore
- **FOB o FRANCO A BORDO**
- **CFR o COSTO ASSICURAZIONE E INCASSO**
- **DDP o TRASPORTO E ASSICURAZIONE**
- **DAP o RESO SCOGANATO**, le spese sono tutte a carico del venditore

Come si progetta un canale distributivo?

La fase di progettazione di un sistema di distribuzione richiede l'analisi di differenti fattori:

1. Determinazione del livello di servizio da garantire al Cliente (non è sempre il livello di servizio massimo), funzione del settore merceologico e del tipo di segmento di mercato di riferimento
2. Pianificazione del canale distributivo, definire quindi la posizione dei centri distributivi intermedi
3. Gestione delle scorte
4. Scelta del sistema di trasporto
5. Studio degli imballaggi
6. Pianificazione del flusso informativo e la gestione degli ordini

LAP - LOCATION ALLOCATION PROBLEM

SCelta DEL SISTEMA DI TRASPORTO

Esistono diversi tipi di forme di trasporto:

- Trasporto via strada (in Italia è la forma di trasporto più utilizzata)
- Trasporto via acqua
- Trasporto ferroviario
- Trasporto via aerea
- Pipeline (sottosue)

1. Trasporto via acqua

Si possono individuare due tipologie di mezzi navali:

- Navi portacontenitori, navi a tutto porto in cui i contenitori vengono impiantati uno sopra l'altro, bloccati per peso proprio
- Navi portainfusa, scialuppe galleggianti con delle stive riempite con del materiale

2. Trasporto su gomma

La merce può essere messa tramite:

- Autocarro/motrice, lo scopo è il trasferimento su strada di merci, quindi sono dotati di cassoni o vani di carico più o meno grandi. È importante conoscere la geometria del cassone (lunghezza, larghezza, altezza), le misure a vuoto e trasportabili
- Automezzo, mezzo con rimorchio (semi-rimorchio)
- Autotreno, mezzo con rimorchio (rimorchio, è in grado di muoversi autonomamente)

3. Trasporto su rotaie

Esistono più mezzi per il trasporto ferroviario:

- Merce vera (più usata), di cui è importante conoscere le dimensioni, portata e tipologia di carico
- Flat o Portacontenitore per merce lunga, possono contenere o un contenitore da 40 o due da 20
- Carri frigoriferi, simili ai carri per merce varia ma sono costruiti dal fatto che hanno pareti coibentate in modo da controllare la temperatura interna durante il trasporto
- Tramaglia, consente il carico di merci classe dall'alto e il loro scarico tramite il ribaltamento laterale del vagone stesso

4. Trasporto aereo

Si possono individuare 2 tipologie di aereo:

- Aereo passeggeri/merci, sciolto dal piano di capotreno ai vari sedili con al di sotto i vano merci (il contenitore con la merce si deve adattare alla forma del vano, nascono infatti i contenitori aerospaziali di cui è importante la dimensione e la portata). È importante conoscere geometrie e portate ed è più importante la sequenza con la quale colloca la merce sull'aereo e inoltre la merce deve essere necessariamente bloccata con contenitori o con leggio aeronautici o reti
- Aereo solo merci, in cui le merci sono in tutto il profilo dell'aereo. Può essere diviso in due, per cui la merce viene sopra e sotto il profilo di capotreno oppure senza il piano di capotreno e le merci sono solo sopra

Contenitori termici

È l'elemento di trasporto più utilizzato (insieme al pallet) nella logistica distributiva. Si tratta di una cassa, generalmente in metallo, per il trasporto della merce. Le informazioni necessarie riguardano un contenitore sono: dimensioni utili e misure trasportabili, ed è fondamentale la dimensione della porta.

Esistono differenti tipologie:

- Containere Dry o General Purpose, chiusi e ventilati con tetto, pareti laterali ed estremità rigide
- Frigorifero o Reefer, utilizzati per oggetti facili sagoma (ingombranti)
- Containere Open top, utilizzati per merce che eccede in altezza. Quindi il tetto è aperto e coperto da un telone mantenuto da archi per carcare la merce dall'alto
- Flat Containere con pareti laterali abbassabili, usati per oggetti che hanno solo la larghezza fuori sagoma o altezza
- Reefer, contenitore simile a quello per merce varia ma con pareti coibentate per limitare il forte scambio termico con l'esterno
- Full door, costituito da lati che possono essere aperti per un eccesso di misure per facilitare l'azione di carico e scarico
- Cassa mobile o Swap body, alternativa al contenitore con misure diverse, una misurazione e costo ed una maggiore volumetria di carico (non ha bisogno di sistemi per il carico/scarico)

Come scegliere un sistema di trasporto?

In base a:

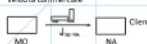
- Caratteristiche di prodotto (tipo, peso, ingombro, periodicità)
- Caratteristiche delle consegne (origine, destinazione, urgenza richiesta, costo tollerabile, protezione del prodotto)

→ OBETTIVO: scegliere un sistema di trasporto che rispetta le caratteristiche richieste al minor costo possibile

Tempo di transito (door to door): tempo di carico + tempo di viaggio + tempo di scarico



Velocità commerciale



$$T_{com} = T_{car} + T_{viag} + T_{scar} \quad con \quad T_{car} = \frac{Q}{v_{car}}$$

$$v_{com} = \frac{L}{T_{com}} = \frac{L}{T_{car} + T_{viag} + T_{scar}}$$

Velocità che avrebbe il mezzo se partisse nel momento in cui inizia a caricare e arrivasse esattamente nel momento in cui ha finito di scaricare

$$v_{com} = \frac{L}{T_{com}} = \frac{L}{T_{car} + T_{viag} + T_{scar}}$$

$$ES: L = 300 \text{ km/h}, T_{car} = 1 \text{ h}, T_{viag} = 1 \text{ h}, T_{scar} = 1 \text{ h} \Rightarrow v_{com} = \frac{300}{3} = 100 \text{ km/h}$$

$$T_{com} = T_{car} + T_{viag} + T_{scar} = \frac{Q}{v_{car}} + T_{viag} + \frac{Q}{v_{scar}}$$

$$v_{com} = \frac{L}{T_{com}} = \frac{L}{\frac{Q}{v_{car}} + T_{viag} + \frac{Q}{v_{scar}}}$$

$$Nel \text{ movimento dei materiali interessa la VELOCITÀ COMMERCIALE del mezzo}$$

La velocità commerciale è influenzata anche da altri tempi oltre al tempo di carico/scarico (es. pause obbligatorie driver, congestioni e pause nel traffico)

Peso reale/volumetrico/assabile



Nello spostare merce mi affido ad un "provider logistico" il quale tariffa il trasporto. La tariffazione può avvenire in molti modi diversi (km, tratta o corpo, euro/UDM, euro/kg + sistemi misti)

Ogni merce è costituita da 2 pesi:

- Peso reale
- Peso volumetrico, peso che avrebbe il volume di merce che sto trasportando se avesse come densità una densità di riferimento fissata dal provider = $170 = 300 \text{ kg/m}^3$

$$f_{re} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$f_{vol} = \frac{m}{V} = \frac{m}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad \text{fissata dal provider}$$

$$P_{max} = \max(P_{max1}, P_{max2})$$

peso che effettivamente si paga

$$E5: T = 1,5 \text{ kg/m}^3 \cdot f = 300 \text{ kg/m}^3 \cdot P_{max} > 2 \text{ kg} \cdot 1000 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{max} = f_{max} \cdot 1000 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{max} = \max(1,5 \cdot 6) = 9 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{max} = T \cdot P_{max} = 1,5 \cdot 6 = 9 \text{ kg/m}^3$$

ESERCIZIO 1 - Ritorno/Non ritorno + Sovrapposibilità/Non sovrapposibilità



A) Ritorno vuoto
B) Con ritorno carico

1) Non sovrapposibili
2) Sovrapposibili

$$C_{max}(\text{non}) = \frac{C_{max}}{P_{max}} = \frac{300.000}{0,5} = 600.000 \text{ €/km}$$



trasporto impiega un giorno intero

$$C_{max} = C_{max} + C_{max} = 300 + 300 = 600 \text{ €/km}$$

1 giorno 1 mezzo A/R

$$P_{max} = C_{max} \cdot 1,5 = 900 \text{ €/km}$$

Markup +20%



Trasporto (partimenti accreditato del trasferimento a uno o a entrambi i clienti)

$$C_{max} = \frac{300 + 240}{2} = 270 \text{ €/km}$$

Diviso per il numero di clienti

$$P_{max} = C_{max} \cdot 1,5 = 405 \text{ €/km}$$

effetto del ritorno (urgenza del trasporto a "temica" della possibilità di avere un ritorno)

$$P_{max} = P_{max} + P_{max} = 405 + 405 = 810 \text{ €/km}$$

Ricavo trasportatore

$$P_{max} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ €/km}$$

HP. Configurazione di lato



Quante pallet contiene?

$$\frac{3000}{1500} = 2 \text{ pallet/livello} \cdot 2 \text{ livelli} = 4 \text{ pallet}$$

CASO 1 (BOX NON SOVRAPPONIBILI, per ragioni di resistenza meccanica dell'imballo)

$$N_{pallet} = 10 \cdot (1 + 1) = 20$$

$$N_{pallet} = \frac{300}{150} = 2$$

CASO 2 (BOX SOVRAPPONIBILI, imballo più resistente)

$$N_{pallet} = 10 \cdot 2 = 20$$

$$N_{pallet} = \frac{300}{150} = 2$$

Costo totale della spedizione per chi deve spedire

$$HP: C_{tot} = C_{max} + C_{max}$$

Scenario A - CASO 1 (NO RITORNO + NO SOVRAPPONIBILITÀ)

2 metri per spostare i pallet

$$C_{max} = 200 \cdot 2 = 400 \text{ €/km}$$

Costo 1 motrice senza ritorno

$$C_{max} = \frac{C_{max}}{P_{max}} = \frac{400}{0,5} = 800 \text{ €/km}$$

Scenario B - CASO 1 (RITORNO + NO SOVRAPPONIBILITÀ)

$$C_{max} = 400 \cdot 2 = 800 \text{ €/km}$$

$$C_{max} = \frac{800}{0,5} = 1600 \text{ €/km}$$

Scenario A - CASO 2 (NO RITORNO + BOX SOVRAPPONIBILI)

$$C_{max} = 200 \cdot 1 = 200 \text{ €/km}$$

$$C_{max} = \frac{200}{0,5} = 400 \text{ €/km}$$

Scenario B - CASO 2 (RITORNO + BOX SOVRAPPONIBILI)

$$C_{max} = 400 \cdot 2 = 800 \text{ €/km}$$

$$C_{max} = \frac{800}{0,5} = 1600 \text{ €/km}$$

$$C_{max} = \frac{3000}{1500} = 2 \text{ pallet}$$

Caso	€/km	km	km
A	16,50	10,0	10,0
B	13,5	10,0	10,0

1. Avere il ritorno è la cosa più rilevante
2. Il box 2 è troppo costoso per avere un effetto positivo sul costo del trasporto
3. Anzi, meglio tra box e worst case

ESERCIZIO 2 - merci differenti



$$C_{max} = C_{max} + C_{max}$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{max} = 10 \cdot 1 = 10$$

$$C_{tot} = C_{trasp} + C_{stock} + C_{man} + C_{costo\ variabile}$$

$C_{tot} = C_{trasp} + C_{stock} + C_{man} + C_{costo\ variabile}$
 $C_{stock} = \frac{C_{stock}}{Q} \cdot Q$ (indice di rotazione)
 $C_{man} = \frac{C_{man}}{Q} \cdot Q$ (indice di rotazione)
 - frazione (dipende dal prodotto stoccato)
 - tempo minimo

Modello di costo per la valutazione finale (potes)

$$C_{tot} = C_{trasp} + C_{stock} + C_{man} + C_{costo\ variabile}$$

RAI

$$C_{trasp} = R \cdot D = 0,1 \cdot 500000 = 50000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{stock} = H \cdot \bar{Q} = 0,1 \cdot 100000 = 10000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{man} = H \cdot \bar{Q} = 0,1 \cdot 100000 = 10000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{costo\ variabile} = H \cdot \bar{Q} = 0,1 \cdot 100000 = 10000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

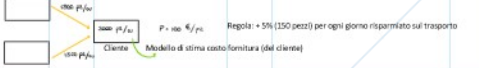
$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{tot} = 50000 + 10000 + 10000 + 10000 = 80000 \text{ €/giorno}$$

Modalità	Costo	Giorni
RAI	50000	20
STRADA	33330	5
AEREO	50000	2

Il driver del costo è uno dei diversi driver che si possono/deverano considerare nelle scelte aziendali, pertanto è fondamentale avere la stima economica

ESERCIZIO 3 - trasporto come leva competitiva



Fornitore A - cambiare mezzo di trasporto (più rapido) -> Ricavi maggiori, Costi di trasporto maggiori

Situazione attuale (AS/IS) - FORNITORE A

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

$$U = 150 \cdot Q = 150 \cdot 150 = 22500 \text{ €/giorno}$$

$$C_{trasp} = 10 \cdot Q = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ €/giorno}$$

STRADA (L1 = 4 gg) - Differenza di giorni nel LT fornitura rispetto AS/IS

$$Q = 150 - 5Q = 150 - 5(150) = 150 - 750 = -600$$

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{trasp} = 10 \cdot Q = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ €/giorno}$$

$$U = 150 \cdot Q = 150 \cdot 150 = 22500 \text{ €/giorno}$$

AEREO (L1 = 2 gg)

$$Q = 150 - 5Q = 150 - 5(150) = 150 - 750 = -600$$

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{trasp} = 10 \cdot Q = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ €/giorno}$$

$$U = 150 \cdot Q = 150 \cdot 150 = 22500 \text{ €/giorno}$$

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{trasp} = 10 \cdot Q = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ €/giorno}$$

$$U = 150 \cdot Q = 150 \cdot 150 = 22500 \text{ €/giorno}$$

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

$$C_{trasp} = 10 \cdot Q = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ €/giorno}$$

$$U = 150 \cdot Q = 150 \cdot 150 = 22500 \text{ €/giorno}$$

$$R = P \cdot Q = 100 \cdot 150 = 15000 \text{ €/giorno}$$

Valori V_{max} = 2x300 / 2x300 = 1,00 (x + f) in alcuni settori è molto significativo
 Valutazioni strettamente economiche, ma esistono anche altre considerazioni da effettuare:
 - Impatto ambientale (impatto strada > impatto ferroviario)
 - Strada modalità più rischiosa
 - Gestione transitorio rail - truck (costi/tempo)

Modalità	R [€/giorno]	U [€/giorno]	Q [pezzi]
RAI	15000	22500	1500
STRADA	15000	21300	1450
AEREO	15000	21450	1450

$$N_{max} / m_{max} = 2 \text{ ton} / m^3 = 2 \cdot 10^3 \text{ kg} / m^3 = 2000 \text{ kg} / m^3$$

$$P_{max} = \text{MAX}(P_{max}, P_{max})$$

$$P_{max} = 150 \text{ kg} / m^3$$

$$P_{max} = \frac{2000 \text{ kg} / m^3}{10} = 200 \text{ kg} / m^3$$

$$P_{max} = \text{MAX}(150, 200) = 200 \text{ kg} / m^3$$

Costo spedizioni AS/TS

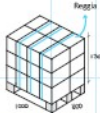
$$T_{tariffa} = t = 92,36 \text{ €/m}^3 \text{ (da tabella)} \quad L = 1000 \text{ km} \quad P_{max} / m_{max}$$

$$C_{trasp} AS/TS = t \cdot P_{max} = 92,36 \cdot 1000 = 92360 \text{ €/anno}$$

Costo mantenimento a stock

$$C_{man} AS/TS = H \cdot Q_{max} = 40 \cdot 1000 = 40000 \text{ €/anno}$$

Costo packaging



$$L_{stack} = (1000 \cdot 2 + 1000 \cdot 2 + 1200) \cdot 2 = 13200 \text{ mm} / \text{m}^3$$

$$C_{stack} = \frac{13200}{1000} \cdot 12,5 \text{ €/m}^3 = 165 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} AS/TS = 0,08 \text{ €/m}^3 \cdot \frac{13200}{1000} = 1,056 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} = \frac{1000}{1000} \cdot 1000 = 1000 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} = 0,81 \cdot 1000 = 810 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} = 2,53 \cdot 1250 = 3162,5 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} = C_{man} = 1200 \cdot 1,1 = 1320 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} AS/TS = C_{man} AS/TS + C_{man} AS/TS + C_{man} AS/TS + C_{man} AS/TS$$

$$= 102150 + 40000 + 16500 + 10560 = 169210 \text{ €/anno}$$

Si tratta di uno dei molteplici modelli di costo che avrei potuto costruire, contiene i principali oneri di costo variabili tra soluzioni AS/TS e TQ/BE

Soluzione TO BE truck o rail



$$P_{max} = 150 \text{ kg} / m^3 \quad L_{stack} = 13200 \text{ mm} / m^3$$

$$P_{max} = 200 \text{ kg} / m^3 \quad L_{stack} = 13200 \text{ mm} / m^3$$

$$P_{max} = 150 \text{ kg} / m^3 \quad L_{stack} = 13200 \text{ mm} / m^3$$

$$P_{max} = 200 \text{ kg} / m^3 \quad L_{stack} = 13200 \text{ mm} / m^3$$

Compartimento cliente (anche Handling interno aziendale)

In un container TEU inserisco 11 pallet (con EPAL 800x1200)

In questo caso ci sono 2 livelli \rightarrow 22 pallet / container

$$P = 22 \text{ pallet} / \text{cont} = 140 \text{ kg} / \text{m}^3 + 1000 \text{ kg} / \text{cont} = 1140 \text{ kg} / \text{cont}$$

Peso container

$$N_{max} = \frac{30000}{1140 \text{ kg} / \text{cont}} = 26,3 \text{ cont} / \text{anno}$$

$$N_{max} AS/TS = 11 \cdot 22 \cdot 2 = 484 \text{ pallet} / \text{anno}$$

Costo pallet

$$C_{man} TO BE = C_{man} N_{max} = 10 \text{ €/m}^3 \cdot (11 \cdot 22) \text{ pallet} / \text{anno} = 24200 \text{ €/anno}$$



$$L_{stack} = (1000 \cdot 2 + 1000 \cdot 2) \cdot 2 = 12000 \text{ mm} / \text{m}^3$$

$$C_{man} = 1,2 \text{ €/m}^3 \cdot \frac{12000}{1000} = 14,4 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} = T_{man} = C_{man} = \frac{1000}{1000} = 1 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} AS/TS = 140 \text{ cont} \cdot 1 \text{ €/cont} = 140 \text{ €/anno}$$

La vita utile è legata:

- Piano di ammortamento fiscale (quota capitale costante) - 7 anni
- Scelta aziendale

$$OT = \text{Operating time} = 8 \text{ h} / \text{giorno}$$

$$f = 23 \%$$

$$P_0 = 5 \text{ kWh} \quad C_0 = \frac{100}{1000} \text{ €/kWh}$$

C_{amm} = quello che deriva dal piano di ammortamento con una rata annua pari alla quota capitale + interessi

$$R_{amm} = f \cdot C_{amm} = 0,23 \cdot 100000 = 23000 \text{ €/anno}$$

$$C_{man} AS/TS = \frac{100000}{1000} = 100 \text{ €/m}^3$$

$$C_{man} AS/TS = \frac{100000}{1000} = 100 \text{ €/m}^3$$

$$C_{\text{trasp. A}} = \frac{C_{\text{trasp. unitaria}} \cdot Q}{R_{\text{trasp. A}}} = \frac{100000 \cdot 100}{200000} = 50 \text{ €}$$

$$C_{\text{trasp. B}} = \frac{C_{\text{trasp. unitaria}} \cdot Q}{R_{\text{trasp. B}}} = \frac{100000 \cdot 100}{250000} = 40 \text{ €}$$

$$C_{\text{trasp. C}} = (P_{\text{trasp.}} \cdot Q_{\text{trasp.}}) \cdot C_{\text{trasp. unitaria}} = (0.1 \cdot 100000) \cdot 100 = 10000 \text{ €}$$

Costo packaging TO BE

$$C_{\text{pack. TO BE}} = C_{\text{pack. A}} + C_{\text{pack. B}} + C_{\text{pack. C}} = 10.50 + 1.50 + 3.00 = 15 \text{ €}$$

$$C_{\text{pack. TO BE}} = C_{\text{pack. TO BE}} \cdot N_{\text{prod.}} = 15 \cdot (100 \cdot 100) = 150000 \text{ €/anno}$$

Costo mantenimento a stock

$$C_{\text{man. TO BE}} = (P \cdot I) \cdot Q = (0.05 \cdot 100) \cdot 10000 = 5000 \text{ €/anno}$$

Costo del trasporto



$$C_{\text{trasp. TO BE}} = (200 + 2.5 \cdot 20) \cdot 10 = 20000 \text{ €/L}$$

$$C_{\text{trasp. TO BE}} = (200 + 2.5 \cdot 100) \cdot 10 = 27000 \text{ €/L}$$

$$C_{\text{trasp. TO BE}} = L \cdot (200 + 2.5 \cdot N) \text{ €/km} \text{ Per ogni carroio ho 2 container a bordo}$$

$$C_{\text{trasp. TO BE}} = (200 + 2.5 \cdot 100) \cdot 10 = 27000 \text{ €/L}$$

$$C_{\text{trasp. TO BE}} = 20000 + (200 + 2.5 \cdot 100) \cdot 10 = 27000 \text{ €/L}$$

Costo totale TO BE

$$C_{\text{tot. TO BE}} = C_{\text{trasp. TO BE}} + C_{\text{pack. TO BE}} + C_{\text{man. TO BE}}$$

$$C_{\text{tot. TO BE}} = 27000 + 150000 + 5000 = 182000 \text{ €/anno}$$

Costo totale TO BE

A tutti i dati, il truck e il rail non è conveniente (per far conviene il truck e il rail o si negolia una tariffa diversa e più economica e si cerca di abbassare gli altri costi)

PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE DI PRODUZIONE

- 1. Pianificazione
- 2. Esecuzione della produzione
- 3. Controllo dell'avanzamento

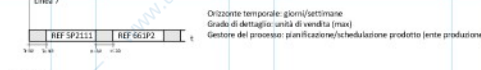
PIANIFICAZIONE

- Analisi della domanda di mercato
- Si hanno due modi diversi di rispondere alla domanda di mercato:
 - Produzione per il magazzino (Make to Stock - MTS), sia a breve che a lungo termine
 - Produzione su commessa (Make to Order - MTO), su medio/lungo termine
- Piano aggregato (PP) / Piano industriale pluriennale / Budget pluriennale
- Documento che definisce i prodotti/servizi schedati per 3-5 anni successivi (dipende dal settore merceologico). Per ognuno di questi documenti si individuano:
 - Orizzonte temporale: 3-5 anni
 - Grado di dettaglio: famiglia di prodotto
 - Gestore del processo: top management/proprietà aziendale
- Scopo: verificare necessità di investimenti in risorse (know how, impianti, personale, supply chain di qualità finanziaria)
- Resource requirement planning (RRP)
- Verifica "di massima" risorse necessarie e disponibili
- Piano principale di produzione "integrato" (MPS - Master Production Schedule)

PRODOTTI	W1	W2	W3	W4
P1	200	200	200	200
P2			300	
P3	100	100	100	100

Orizzonte temporale: settimane/mesi
 Grado di dettaglio: prodotto (anche se non prodotti finali)
 Gestore del processo: direzione commerciale/direzione produzione

- Verifica capacità produttiva (RCCP - Rough cut capacity planning)
- MPS "autorizzato"
- Rifiducazione (re serve) del MPS pianificati per aggiustamenti
- Scopo: investire approvvigionamenti (materiali o manodopera)
- Material requirement planning (MRP): pianificare fabbisogno futuro dei materiali
- Capacity requirement planning (CRP): pianificare fabbisogno futuro delle risorse di produzione
- Piano operativo (PO) / Scheduling: regole-risorse di produzione

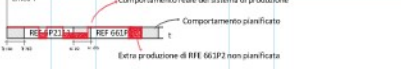


ESECUZIONE

- Rilascio ordini di approvvigionamento (verso l'esterno, gestiti dall'ufficio acquisti) o di produzione (verso l'interno, gestiti dalla produzione interna e/o ordini verso fornitori esterni) (contro lavoro)

CONTROLLO AVANZAMENTO DI PRODUZIONE

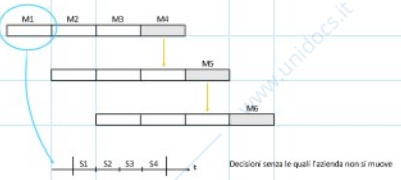
- Controllo dello scostamento fra pianificato e reale e adeguamento del piano operativo



LOGICA ROLLING - Piano aggregato



LOGICA ROLLING - MPS Autorizzato



Decisioni senza le quali l'azienda non si muove

GESTIONE DEI MATERIALI



Come gestire i materiali lungo la Supply Chain?

- Si possono individuare 2 strategie principali:
 - A fabbisogno (reagivo in base al fabbisogno futuro), che si dividono ulteriormente in 2 categorie:
 - Push (a spinta) -> sistemi MRP
 - Pull (in time) -> Just In Time (Kanban)
 - A scorta, che si dividono in diverse categorie, tra cui:
 - A quantità fissa -> Lotto economico (EOQ - ROP)
 - A intervallo fisso -> IR fisso (max system)
- Quando si utilizza un sistema a scorta, si è legati ad un concetto di scorta di sicurezza
- Esistono anche dei metodi evoluti di queste strategie base

Qual è l'approccio migliore in azienda per la gestione dei materiali?

Mix di tutti gli approcci (ci sono zone in cui conviene un metodo e altre in cui ne conviene un altro)

FABBISOGNO A SPINTA (PUSH) - MATERIAL REQUIREMENT PLANNING (MRP)



OBETTIVO MRP: calcolo date al più tardi e delle corrispondenti quantità

Esplorazione del fabbisogno dei materiali deve essere condotto in un istante precedente al primo ordine produttivo/approvigionamento. Al raggiungimento delle date al più tardi emetto ordini (approvvigionamento/prodotto), quindi spingo i materiali lungo scala -> sistema a spinta

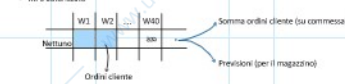
- Lead Time:
- Technologic (produttiva) -> ciclo di produzione/capacità produttiva
 - Commerciale -> mercato (concorrenziale)

La posizione del punto di disaccoppiamento genera modi diversi di rispondere alla domanda del mercato:

- Make to stock (LT=0) -> rischio di mercato (rivenduto e/o mancata vendita)
- Assemble to order (montaggio sull'ordine + collaudo)
- Make to order (fabbricare componenti su ordine + montare + collaudo)
- Purchase to order (comprare i materiali sull'ordine + fabbricare + montare + collaudo)
- Engineering to order (progettare il prodotto sull'ordine + comprare + fabbricare + montare + collaudo) -> rischio di esercizio (più basso del rischio di mercato)

Diminuiscono i rischi complessivi

Input MRP



- Distinto Base (BOM - Bill of Material) -> ufficio tecnico
- Lead Time
 - Produzione (interna o conto lavoro - esterna)
 - Approvvigionamento
- Dimensione dei lotti
 - Produzione
 - Approvvigionamento
- Scorte di materiale (dal prodotto finito ai singoli componenti)
- Livelli di dettaglio
 - Esterni
 - Interni

ESERCIZIO 5

LT = 1 week } A - B
Q = 20 pezzi

LT = 1 week } D - E
Q = 30 pezzi/lotto

- Completare MRP
- Si parte dal livello D per poi scendere

PRODOTTO FINITO PF	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo								100	80		50	160
disponibilità a mag.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	9
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H								4	4	2	9	
fabbisogno netto								96	76	21	49	
richieste pianificate ordini											40	160
emissione ordini							100	80		40	160	

- Data settimana 18, DM = 0 - FN

- Impegni, materiale a magazzino che non può essere utilizzato perché è impegnato per altri scopi

H = G + RC - I

FN = RL - H

- Entità del lotto da produrre e quando esso deve arrivare (= 20 x 5), sempre allineata con FN o maggiore o uguale

- LT = 1 week, l'ordine deve essere emesso una settimana prima

- Si compila per colonne

PRODOTTO A	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo							100	80	40	160		
disponibilità a mag.	10	10	10	10	10	10	10	30	30	30	30	
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H							10	30	30	30		
fabbisogno netto							90	50	10	130		
richieste pianificate ordini								120	80	40	160	
emissione ordini					120	80		40	160			

- Fabbisogno lordo di un figlio è uguale al fabbisogno lordo del padre moltiplicato per il numero di figli nel padre

PRODOTTO B	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo							100	80	40	160		
disponibilità a mag.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H							1	1	2	2		
fabbisogno netto							99	78	38	158		
richieste pianificate ordini									40	160		
emissione ordini						100	80		40	160		

PRODOTTO E	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo							1000	900	400	1600		
disponibilità a mag.	40	40	40	40	40	40	40	200	200	200	200	
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H							40	140	200	200		
fabbisogno netto							960	760	140	1400		
richieste pianificate ordini									300	1500		
emissione ordini					1000	900		300	1500			

PRODOTTO C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo							100	80	40	160		
disponibilità a mag.	50	50	50	50	50	50	50	30	30	30	30	
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H							3	3	3	3		
fabbisogno netto							97	77	37	157		
richieste pianificate ordini											40	160
emissione ordini							100	80		40	160	

- Un solo C per ogni B (padre)

PRODOTTO D	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
fabbisogno lordo							100	80	40	160		
disponibilità a mag.									20	20	20	40
richieste prog.												
impegni												
disponibilità H									20	100		
fabbisogno netto									100	80		
richieste pianificate ordini											100	160
emissione ordini						100	80		100	160		

PRODUZIONE INTERNA: PF + B
PRODUZIONE ESTERNA: A + C + D + E

Chiamata alla week 18: 13 PF della week 20 possono diventare 100?
 4 PF alla week 22 (senza cambiare pianificazione)
 30 A + 2 B + 2 PF alla week 22 (assemblaggio A + B)

VANTAGGI POTENZIALI DI UN SISTEMA MRP

- Scorte molto basse (di prodotti finiti, semilavorati, componenti)
- Livello di servizio (data di consegna/quantità in consegna): molto alto

PROBLEMI FREQUENTI E COMUNI DI UN SISTEMA MRP "REALE"

- Elevata mole di dati e di calcoli -> soluzione IT
- Affidabilità dati di input
 - o MPS: instabilità (mercato difficile da controllare) genera rotture di stock (mancanza di materiale)
 - o BOM - Bill of Materials: mancato aggiornamento/incompleta
 - o LT - Lead Time: mancato rispetto dell'LT
 - o Dimensione lotti: mancato rispetto dei lotti
 - o Giacenza a magazzino (magazzino è un serbatoio che contiene materiali): disallineamento fra dato fisico e dato a sistema -> soluzione cartacea (data entry), Bar-code, RFID
 - o Livelli di difettosità: non conoscenza
- > L'instabilità degli input nei casi reali genera problemi su MRP
 - o Nel "breve termine", questi problemi si risolvono aumentando le scorte
 - o Nel "medio/lungo termine", questi problemi vengono risolti dedicandosi alla qualità e stabilità degli input

ADATTO

- Per produzione su commessa
- Assemblaggio rilevante
- Informazioni di input affidabili

Capacità finita/infinita

ricezione ordini		100	2000
emissione ordini	100	2000	

MRP a CAPACITÀ INFINITA

- Riesco a fare la quantità richiesta? Sì
- LT cambia con la dimensione del lotto? No

Nella realtà, invece si ha un MRP a CAPACITÀ FINITA (MRP2 - MRP CLOSED LOOP)

- Input aggiuntivo: capacità produttiva (difficile da mantenere aggiornato e molto oneroso)

Approccio:

- Aumentare al sistema MRP a capacità infinita con un MPS "pre-verificato"
- Spostamento in avanti del controllo/uso della capacità produttiva reale a livello di redazione del piano operativo (scheduling)

ATP - AVAILABILITY TO PROCESS

Disponibilità a promettere, indica la quantità di merce che può essere fornita al cliente in caso di richiesta non prevista nel fabbisogno lordo

ESERCIZIO 7

PRODOTTO FINITO - PF	29	30	31	32	33	34	35	36	37
fabbisogno lordo			67		221	42		379	
giacenza a mag.	12	12	245	245	24	272	292	292	214
ricezioni prog.			φ		φ	10			
impegni			φ		φ	φ		12	12
fabbisogno netto			55		φ H+PL	8		106	
ricezione pianificata ordini			300			300		300	
emissione ordini		300		300		300			
ATP	12	12	24	24	24	272	292	196	196
ATP cumulato									

- Dividere in finestre in base alle ricezioni ordini

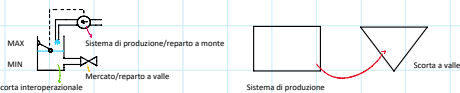
-> da verificare modo e scopo del calcolo (ogni tanto presente)

- PF ordinati dal cliente: 221 + 67
- Disponibilità iniziale: 2
- PF prodotti: 300

-> pezzi in più non coperti da ordine cliente: 12 + 300 - (221 + 67) = 24 pezzi

Se ricevo una richiesta dal cliente e fornisco dei pezzi dal ATP (es. 10 di 24 alla week 32), bisogna ricalcolare ATP per le week seguenti

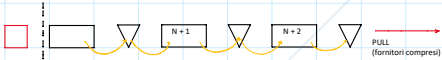
JUST IN TIME - PULL (approccio ispirato alla Lean Production)



Solo a fronte di un prelievo di materiale dalla scorta a valle, il sistema di produzione reagisce (fino ad un livello massimo), altrimenti il sistema di produzione rimane fermo (problema da gestire)

- I sistemi JIT sono sistemi a scorta controllata (tra min e max) e non a scorta nulla
- Le evidenze sperimentali dimostrano che sono sistemi che consentono a parità di condizioni di lavorare con scorte significativamente più basse di un sistema PUSH

JIT

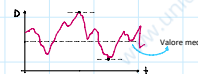


VANTAGGI JIT

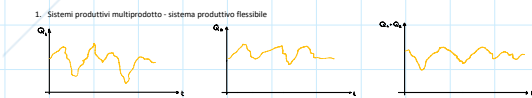
- Scorte: Ridotte rispetto all'approccio push, inoltre sono sistemi a scorta controllata (minimo = 0 e massimo)
- Livelli di servizio: massimo orientamento al cliente

REQUISITI ~ SVANTAGGI/VINCOLI

- Domanda di mercato

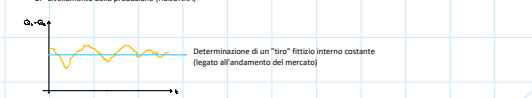


Il JIT non è adatto se si hanno grandi oscillazioni della domanda, in virtù dell'impossibilità di avere una capacità produttiva altrettanto oscillante. Il mercato reale, però, è instabile, di conseguenza per poter applicare il JIT si introducono delle soluzioni:



Nella norma la domanda aggregata di più prodotti è più stabile di quella dei prodotti singoli (ricerca di mercati contro-stagionali)

2. Livellamento della produzione (HEIJUNKA)



Avere un magazzino di disaccoppiamento introduce una inefficienza (possibilità di sviluppare un buon sistema JIT - domanda costante)

- Sistema di produzione "reattivo":

- LT: si utilizza un approccio con i fornitori chiamati "a sforzi" supplementari o co-makership. Una partnership con i fornitori si può sviluppare su diversi piani di collaborazione:
 - o Politiche di prezzo adeguate
 - o Aumento dei volumi/aumento della durata dei contratti di fornitura
 - o Servizi: formazione, consulenza per miglioramento
 - o Aree produttive "virtuose" con affitti bassi
 - o Licenza software
 - o Assistenza legale
- LTP - sistema a reattivo, per cui i tempi di lavorazione devono essere bassi (tema tecnologico) così come il tempo a set-up deve essere basso (SMED - Single Minute Exchange of Die)

TECNICA SMED

1. Analisi delle attività di set-up, scomposizione del set-up in tante attività elementari (misura della durata delle attività elementari attraverso un rilievo diretto o collezione di filmati)
2. Classificazione dell'attività di set-up in due categorie: interna (IED - Inside Exchange of Die) da fare obbligatoriamente a macchina ferma, esterna (OED - Outside Exchange of Die) da fare anche con impianto funzionante
3. Convertire le attività eseguite internamente a macchina ferma ma che sono esterne in attività effettivamente esterne (problema di approccio culturale al set-up)
4. Minore durata delle operazioni interne rimanenti (necessarie)
 - o LT set-up bassi

Strumento operativo per il Just In Time - cartellino Kanban

- Sistema a 1 KB (poco usato in azienda)



LT set-up bassi

Strumento operativo per il Just In Time - cartellino Kanban



- Sistema a 2 KB (più utilizzato in aziende)



In inglese è in uso il numero di scorte è duplicato rispetto al sistema a 2 KB e si individuano:

- KB produzione P-KB (dichiara a chi devo produrre e cosa produrre), contiene informazioni sul pezzo, posizione del magazzino, nome del reparto, numero di pezzi (un contenitore o è vuoto o pieno con tutti i pezzi previsti). Questo si divide in due categorie:
 - KB ordine di produzione normale
 - KB segnale, utilizzato per gestire la produzione a lotti
- KB prelievo C-KB (secondo il fatto che i reparti non sono necessariamente vicini, e che la merce non viene spostata solo dall'operatore come nel sistema a 1 KB), contiene informazioni sul codice, analogia del pezzo, quantità all'interno del contenitore, nome dei magazzini all'interno del quale il KB lo serve, analogia del cartellino. Questo si divide in due categorie:
 - KB prelievo vero e proprio, interno all'azienda
 - KB fornitore, esterno all'azienda (contiene più informazioni per aiutare l'operatore fornitore che non conosce l'azienda quanto un operatore interno)

Osservazioni

- Il numero di cartellini KB rappresenta il livello di scorta massima (D → scorta massima)
- Il numero di cartellini KB (variabile libera) è indice di quanto il flusso è lento (alta reattività + bassa scorta)

2 approcci matematici per il calcolo di KB

1. Numero di KB è legato al consumo medio giornaliero, tempo di copertura desiderato, eventuale margine (scorta di sicurezza) e capacità del contenitore

$$NK_{1,1} = \left[\frac{C_{medio} \cdot T_{copertura} + S_{scorta\ sicurezza}}{Capacità\ KB} \right]$$

2. Numero di KB è legato al consumo massimo di contenitori giornaliero e da punto di riordino

$$NK_{1,2} = \left[\frac{C_{max} \cdot T_{riordino}}{Capacità\ KB} \right]$$

ESERCIZIO 1

Opening Time (OT): $30 \cdot 24 \cdot 60 = 43200$ min

Prodotto	Q (pz/seq)	T (seq/ggi)
A	100	100/10 = 10
B	200	200/10 = 20
C	300	300/10 = 30

HP: Produrre tutti i giorni i codici A,B,C che servono per la produzione di Q,R,S (per avere più reattività)

Produzione di componenti A,B,C richiesta alla cella

Componente	Q (pz/seq)	T (seq/ggi)	T (gg/seq)	T (gg/seq)
A	100	10	0,35	0,35
B	200	20	0,35	0,70
C	300	30	0,35	1,05

Somma tempi di lavorazione al giorno

Fabbisogno produttivo della cella



Tempo non di taglio utile per set-up (almeno uno per ogni componente - numero minimo e massimo di set-up) o altre lavorazioni di altri pezzi (dipende dalla strategia dell'azienda)

- Numero minimo di set-up

$$T_{set-up\ min} = 3 \cdot 10 + 3 \cdot 20 + 3 \cdot 30 = 180 \text{ min}$$

- Numero massimo di set-up (lotti più piccoli possibili) - One piece flow



Qual è il numero massimo di sequenze ABC che posso fare?

$$T_{set-up\ max} = 3 \cdot 10 + 3 \cdot 20 + 3 \cdot 30 = 180 \text{ min}$$

$$N_{seq} = \frac{OT - T_{set-up\ min}}{T_{seq}} = \frac{43200 - 180}{180} = 240$$

$$Q_A = \frac{OT}{T_A} = \frac{43200}{10} = 4320 \text{ pz/seq}$$

$$Q_B = \frac{OT}{T_B} = \frac{43200}{20} = 2160 \text{ pz/seq}$$

$$Q_C = \frac{OT}{T_C} = \frac{43200}{30} = 1440 \text{ pz/seq}$$

Tempo residuo giornaliero

$$T_{residuo} = OT - T_{set-up} - T_{lavorazione} = 43200 - 180 - 180 = 42840 \text{ min}$$

Calcolo del numero di KB - P

HP: Massimo livellamento

$$NK_{1,1} = \left[\frac{N_{seq} \cdot T_{seq} \cdot (1 + \alpha)}{Q_i} \right]$$

Tutti i margini concentrati su S5

$$NK_{1,1} = \left[\frac{240 \cdot 180 \cdot (1 + 0,2)}{100} \right] = 6 \text{ KB}$$

$$NK_{1,1} = \left[\frac{240 \cdot 180 \cdot (1 + 0,2)}{200} \right] = 3 \text{ KB}$$

$$NK_{1,1} = \left[\frac{240 \cdot 180 \cdot (1 + 0,2)}{300} \right] = 2 \text{ KB}$$

Calcolo del numero di KB - C

$$NK_{1,1} = \left[\frac{N_{seq} \cdot T_{seq} \cdot (1 + \alpha)}{Q_i} \right]$$

- Caso KB - C per il magazzino gestito con il magazzino interno (A,B,C)



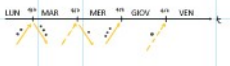
$T_{imp} = T_{trasporto} + T_{trasmissione} = A + B + C$ KB che è posto nella bacheca del corriere alle 10:01 - il materiale corrispondente è consegnato alle 12:00

Componente A $NK_A(x) = \left[\frac{300 - \frac{300}{30} \cdot (x+0,5)}{30} \right] = 10 \text{ KB}$

Componente B $NK_B(x) = \left[\frac{300 - \frac{300}{30} \cdot (x+0,5)}{30} \right] = 10 \text{ KB}$

Componente C $NK_C(x) = \left[\frac{300 - \frac{300}{30} \cdot (x+0,5)}{30} \right] = 10 \text{ KB}$

- Caso KB - C per il magazzino gestito con il fornitore (D)



$T_{imp} = A + B + C$

$N_{max} = N_{maxA} + N_{maxB} + N_{maxC} = 300 + 300 + 300 = 900 \text{ pz}$

Componente D $NK_D(x) = \left[\frac{300 - \frac{300}{30} \cdot (x+0,5)}{30} \right] = 10 \text{ KB}$
 Ridotto a 236 per avere il numero di contenitori a numero intero

Sistemi a scorta a quantità fissa
 LOTTO ECONOMICO (più consonante) - ECONOMIC ORDER QUANTITY REORDER (EOQ)

Lotto economico di acquisto (buy)

$P \left[\frac{\text{€}}{\text{pz}}$ - Prezzo di acquisto - costante (al variare di Q)

$C \left[\frac{\text{€}}{\text{ordine}}$ - Costo emissione ordine - costante (tempo di trasporto/ufficio acquisti/tempo accettazione arrivo)

$H \left[\frac{\text{€}}{\text{pz} \cdot \text{giorno}}$ - Costo mantenimento a stock - costante



$D \cdot T \left[\frac{\text{pz}}{\text{giorno}}$ - Domanda annua

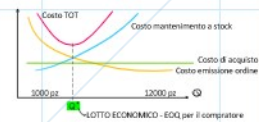
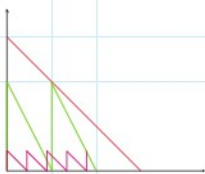
$d = \frac{D}{N} \left[\frac{\text{pz}}{\text{giorno}}$ - Domanda giornaliera - costante con N = Numero di giorni/annuo

Visto che di norma non è vero si introduce il concetto di **scorta di sicurezza**

Qual è la scelta migliore?
 Da che punto di vista? Economico?

HP: Dal punto di vista economico

- Ricco agli costi di mantenimento a stock - bassi costi di emissione/gestione ordini
- Visto: bassi costi di mantenimento a stock - alti costi di emissione/gestione ordini



$C_{TOT} = C_{sta} + C_{emiss} + C_{mant.stoc}$ - Funzione di costo EOQ

$C_{sta} = P \cdot \frac{D}{Q}$

$C_{emiss} = C \cdot \frac{D}{Q}$

$C_{mant.stoc} = H \cdot \frac{Q}{2}$

$Y' = P' + C' \cdot \frac{D}{Q^2} - H \cdot \frac{D}{2}$

Q^* - Cercare il Q minimo per il quale C totale = C totale minimo

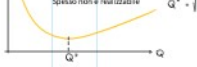
$C_{TOT} = \frac{D}{Q} \cdot (P + C) + H \cdot \frac{Q}{2}$

$\frac{dC_{TOT}}{dQ} = 0 \rightarrow X^*$ tale per cui $Y(X^*) = Y_{min}$

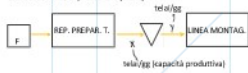
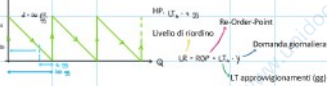
Condizione di minimo $\frac{dC_{TOT}}{dQ} = 0$

$0 = -\frac{D}{Q^2} \cdot (P + C) + H \cdot \frac{1}{2} \rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2D(P+C)}{H}}$

$C_{TOT} = \frac{D}{Q^*} \cdot (P + C) + H \cdot \frac{Q^*}{2}$



Quando emetto l'ordine?





Qual è la dimensione ottima del lotto di produzione (a scorta)?

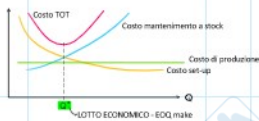
HP: $c [Y/m]$ costo di produzione - costante (in Q)

$C [Y/m]$ costo set-up - costante

$H [Y/m]$ costo mantenimento a stock - costante

$X [P/Y]$ capacità produttiva - costante

$Y [P/Y]$ domanda giornaliera - costante



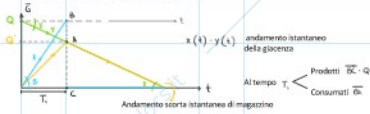
$$C_{tot} = C_{prod} + C_{set-up} + C_{mant.stock}$$

$$C_{prod} = P \cdot Y \left[\frac{C}{m} \right]$$

$$C_{set-up} = C \cdot N_{set-up} = C \cdot \frac{Y}{Q}$$

$$C_{mant.stock} = H \cdot \bar{Q}$$

Qual è la giacenza istantanea del magazzino?



$$t_{g.p} = x + \frac{Q}{T_r}$$

$$\bar{Q} = \frac{Q}{2} \text{ (stimato)}$$

Legame tra Q e Q'

$$Q' = X \cdot T_r - B \cdot A$$

$$t_{g.p} = x$$

$$t_{g.p} = \frac{Q}{T_r} = \frac{B \cdot A}{T_r} = B \cdot T_r - T_r \cdot x$$

$$t_{g.p} = y$$

$$t_{g.p} = \frac{B \cdot A}{T_r} = B \cdot T_r - T_r \cdot y$$

$$Q' = B \cdot A - B \cdot T_r \cdot x - T_r \cdot y = T_r \cdot (x - y)$$

$$\frac{y}{T_r} = \frac{Q}{T_r} - x + \frac{Q}{T_r} = T_r \cdot \frac{Q}{x}$$

$$Q' = T_r \cdot (x - y) = \frac{Q}{x} \cdot x - y = Q \cdot \left(1 - \frac{y}{x} \right) \text{ legame tra Q e Q'}$$

$$C_{tot} = P \cdot Y + C \cdot \frac{Y}{Q} + H \cdot \frac{Q}{2}$$

unica variabile Q

Q* per il quale si ha il Costo Totale Minimo

$$\frac{dC_{tot}}{dQ} = - \frac{C \cdot Y}{Q^2} + \frac{H}{2} = 0 \Rightarrow \frac{C \cdot Y}{Q^2} = \frac{H}{2} \Rightarrow Q^2 = \frac{2 \cdot C \cdot Y}{H} \Rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot Y}{H}}$$

$$EOQ_{make} = Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot Y}{H}}$$

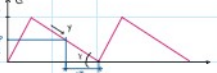
$$C_{tot \text{ min}} = C_{tot}(Q^*)$$

Q' in condizioni di ottimo?

$$Q' = (Q - Q^*) = Q^* \cdot \frac{x - y}{x} = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot Y}{H}} \cdot \frac{x - y}{x}$$

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot Y}{H}} \cdot \frac{x - y}{x}$$

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot Y}{H}} \cdot \frac{x - y}{x}$$



$$EOQ_{make} = Y \cdot T_r - Y \cdot T_r$$

tempo che intercorre da quando emetto l'ordine in produzione e quando la produzione inizia a produrre i pezzi

ESERCIZIO 9

$$Y = D = 5000 \text{ P/An}$$

$$N = 220 \text{ P/An}$$

$$H = 1 \text{ P/An}$$

7 razione MAKE

N = 220 \$/ora

H = iP con i = 9%

2 opzioni: MAKE BUY

BUY MAKE

P = 25 \$/m P = 30 \$/m

C = 20 \$/m X = 10 \$/m

C = 20 \$/m

Dal punto di vista economico (non è l'unico driver) mi conviene comprare o produrre il componente?

$C_{tot\ make} = Q \cdot C_{make}$ $C_{tot\ buy} = Q \cdot C_{buy}$

BUY

$$C_{tot\ buy} = \frac{C_{fix}}{Q} + \frac{C_{var}}{Q} + \frac{C_{stock}}{Q} + \dots$$

$C_{tot\ make} = Q \cdot (20 + 10) = 30Q$

$$30 \cdot 1000 = 30000$$

MAKE

$$C_{tot\ make} = \frac{C_{fix}}{Q} + \frac{C_{var}}{Q} + \dots$$

$$C_{tot\ make} = \frac{10000}{1000} + \frac{20000}{1000} = 30$$

$C_{tot\ make} = Q \cdot (20 + 10) = 30Q$

$$30 \cdot 1000 = 30000$$

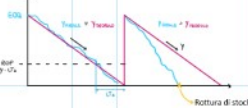
$C_{tot\ buy} = Q \cdot C_{buy} = 1000 \cdot 30 = 30000$

L'aspetto economico non è l'unico nella valutazione make or buy

- Capacità produttiva (sufficiente/sovrabbondante/insufficiente: interna o esterna)
- Know how (non presente o da definire)
- Qualità (interna o esterna)
- Mantenere "vivo" il rapporto con una supply chain esterna potenzialmente utile per il futuro

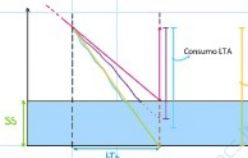
Cosa accade nella realtà di tutti i giorni (di vita aziendale)?

ES. BUY



Un consumo superiore al previsto nel LTA (LTP nel make) genera rotture di stock

Per ridurre il rischio si usa il concetto di scorta di sicurezza (SAFETY STOCK)



Quando il consumo è più basso del previsto non ci sono problemi
Quando il consumo è più alto del previsto è un problema

Domanda massima nel LTA "protetta"

Nel sistemi a scorta c'è una scorta operativa e una di sicurezza che aiuta nel momento in cui nel LTA si ha un consumo maggiore di quello atteso - blocco dimensionale

Scorta e MMG



Divisione logica (nella pratica è solo materiale in eccesso da gestire come la scorta operativa)

Quanto grande deve essere la scorta di sicurezza?



Dimensionamento analitico della scorta di sicurezza (modello economico)

n^* = n° di approvvigionamento totale
 $LS = \frac{m \cdot RS}{n}$ = n° di rotture di stock
Numero di volte in cui un ciclo rimane senza pezzi (numero di volte in cui non si hanno problemi)
Informazioni sulla frequenza delle rotture di stock

$LS = \frac{Y \cdot D_p}{T}$ = domanda persa in rottura di stock
Maggiorata della rottura di stock

$$C_{tot} = C_{scor\ op} + C_{scor\ sic} + C_{manca\ ss}$$

$C_{manca\ ss}$ → 2 modelli per stimare il costo di mancanza basati su 2 definizioni diverse di LS

Modello 1: la riferimento del numero di volte in cui il materiale è magazzino non basta $LS = \frac{m \cdot RS}{n}$

C_{manca} : costo per una rottura di stock = RS (prodotto dei mancati ritardi di consegna o mancata vendita)

$C_{manca} = RS \cdot C_{ss}$

$RS = (1 - L_s) \cdot m$

$C_{ss} = (1 - L_s) \cdot m$

$$C_{\text{tot}} = H \cdot SS + C_{\text{mag}} + C_{\text{tras}} + C_{\text{man}} + C_{\text{per}}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{man}} + C_{\text{per}}$$

$H \cdot SS + C_{\text{mag}}(1-L) =$ Curva del modello 1 basato sul numero di rotture di stock
 - Se SS aumenta allora LS aumenta

Modello 2: basato sul numero di pezzi persi $LS = \frac{y \cdot D_p}{y}$

$$C_{\text{man}} = C_{\text{man}} \cdot x_{\text{per}} \cdot D_p$$

$$C_{\text{per}} = \left(\frac{C_{\text{mag}}}{r_{\text{man}}} \right) + \left(\frac{C_{\text{per}}}{r_{\text{per}}} \right)$$

$$D_p = (1-L) \cdot y$$

$$C_{\text{man}} = C_{\text{man}} \cdot x_{\text{per}} \cdot (1-L) \cdot y$$

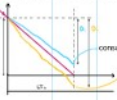
$$C_{\text{tot}} = C_{\text{man}} + C_{\text{per}}$$

$H \cdot SS + C_{\text{mag}} \cdot x_{\text{per}} \cdot (1-L) \cdot y$ Curva del modello 2

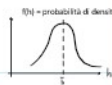
Costo totale dipende da due variabili

Qual è il legame fra SS, LS, Dp? (vale per entrambi i modelli)

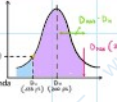
D = domanda nel periodo di approvvigionamento (LTA - buy) o (LTP - make) diversa dalla domanda totale e dalla domanda giornaliera



La grandezza D, cioè la domanda di approvvigionamento del ciclo ordine, è una variabile, quindi ha una certa distribuzione statistica (campione di Gauss)



HP: D ha una distribuzione statistica normale con media D = D media con D media = ROP



$$f(h) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$F(h) = \int_{-\infty}^h f(x) dx = \text{Probabilità cumulata in LTA}$$

$$\rightarrow \int_{-\infty}^h f(x) dx = LS(D_p)$$

livello di servizio se a magazzino ho D1 pezzi

Qual è la probabilità che D massimo basti? (calcolo dell'area rosa)

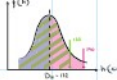
Qual è il legame tra D massima e D media?

$$D_{\text{max}} = D_{\text{m}} + SS \quad \text{perché } D_{\text{max}} = D_{\text{m}} + SS \quad (\text{dal grafico per costruzione})$$

$$LS = \int_{-\infty}^{D_{\text{max}}} f(x) dx = \int_{-\infty}^{D_{\text{m}} + SS} f(x) dx = LS(D_{\text{m}}) + \int_{D_{\text{m}}}^{D_{\text{m}} + SS} f(x) dx$$

Legame tra SS e LS
 non esiste negativo

Vantaggi della gaussiana ES. Caso reale



Persone alte < 172 cm? $\rightarrow h < 172$
 Probabilità 50%
 HP: h media = 17 cm
 scarto quadratico medio = 3 cm = σ

$$P(h < 172) = \int_{-\infty}^{172} f(x) dx = \text{AREA SOTTO}$$

Lo so già perché se D1 ha una SD() gaussiana allora

$$\text{Se mi muovo a destra di } a \text{ so che ho un valore } a + \sigma \cdot K, \text{ so quanto vale l'area sotto } \int_{-\infty}^{a + \sigma \cdot K} f(x) dx = P(h < a + \sigma \cdot K) = \text{AREA SOTTO}$$

Vantaggio: con la gaussiana l'area sotto al grafico dipende dalla distanza della media e in base a K si trova LS (PROBABILITÀ CUMULATA NOTA A PRIORI)

Nel nostro caso



HP: $SS = K \cdot \sigma$ Legame tra SS e K

$$LS = \int_{-\infty}^{D_{\text{m}} + K \cdot \sigma} f(x) dx = \int_{-\infty}^{D_{\text{m}}} f(x) dx + \int_{D_{\text{m}}}^{D_{\text{m}} + K \cdot \sigma} f(x) dx$$

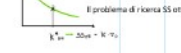
Legame tra K e LS

Attraverso K si trova il legame tra LS e SS

Modello 1

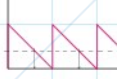
$$C_{\text{tot}} = H \cdot SS + C_{\text{mag}}(1-L) + HK \cdot \sigma + C_{\text{per}}(1-L) = C_{\text{tot}}(K)$$

sola variabile



Il problema di ricerca SS ottima diventa la ricerca di K ottima

Procedura operativa per la determinazione della SS ottima sul campo



Bisogna studiare la domanda del LTA (LTP) - in realtà di solito si studia la domanda giornaliera e poi si fa una inferenza su quella LTA (cioè si sposta)

Si usa la tabella per calcolare

$$D_p = \frac{D \cdot LTA}{365}$$

con MD = numero di livelli disponibili (tabella)

Possiamo usare questo approccio perché per ogni i la probabilità che accada Di è costante e uguale a 1/ND

Grandezze che caratterizzano la gaussiana

$$\sigma_{\text{D}} = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n}}$$

Come si dimostra che si tratta di una gaussiana?

Si fa un test di adattamento delle ipotesi

- L'ipotesi di considerare l'ID) gaussiana è sufficientemente robusta?

Recuperare i valori di H, CRS, n (problema disponibilità dei dati)

Calcolo curva del costo totale (SS)

$$C_{\text{tot}}(x) = H \cdot x + C_{\text{mag}}(1-L) + H \cdot K \cdot \sigma + C_{\text{per}}(1-L)$$

Determinazione di K ottimo dalla tabella precedente

$$K^* = K_{\text{opt}} \quad \text{per modello 1}$$

Modello 2

$$C_{\text{tot}} = H \cdot SS + C_{\text{mag}} + D_p \quad (2 \text{ variabili})$$



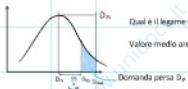
Qual è il legame tra SS e Domanda persa

HP: Domanda persa nel ciclo di approvvigionamento

Valore medio area rossa della domanda persa

Dm (asse D) e Dm (asse D massima) sono la stessa cosa ma riferite a assi diversi

$C_{tot} = H \cdot SS + C_{max,1} \cdot D_0$ (2 variabili)



Qual è il legame tra SS e Domanda persa
 HP: Domanda persa nel ciclo di approvvigionamento
 DM (asse D) e Dm (asse D massimo) sono la stessa cosa ma riferite a assi diversi

$D_0 = D_m \cdot \frac{t_{max}}{t_{max} + t_{p}}$

Domanda persa non è calcolabile mentre Dm si

$D_0 = \int_{t_{max}}^{t_{max}+t_p} k \cdot f(t) dt = \int_{t_{max}}^{t_{max}+t_p} \frac{D_m}{t_{max}+t_p} \cdot f(t) dt = \frac{D_m}{t_{max}+t_p} \int_{t_{max}}^{t_{max}+t_p} f(t) dt$

Legame tra Domanda persa e K (LSS), è un legame già calcolato infatti esiste la tabella

$C_{tot} = H \cdot SS + C_{max,1} \cdot D_0$

pezzi che mancano con SS n^* rotture a stock

$H \cdot K \cdot D_0 = C_{max,1} \cdot n^* \cdot D_0 \cdot \frac{1}{n^*}$

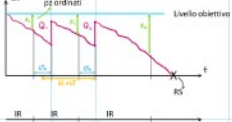
$H \cdot K \cdot D_0 = C_{max,1} \cdot n^* \cdot D_0 \cdot \left(\frac{1}{n^*} - \frac{1}{n^*+1} \right) \cdot n^* = C_{max,1} \cdot (n^*)$

Dipende solo da K



Anche con il modello 2 la ricerca di SS ottimo diventa quella di K ottimo

Modello a scorta intervallo di riordino fisso IR



emissione ordine R_1 , R_2 , R_3

Variabili dei modelli

IR: Valori arbitrari - suggerimenti possibili

$n^* = \frac{D_0}{Q}$ numero di giorni che si hanno numero di approvvigionamenti: se ordinasi con EOQ $\frac{y}{EOQ} \cdot m$

$LO = y \cdot \left(m \cdot \frac{1}{n^*} + \frac{1}{n^*} \right) \cdot \left(\frac{y}{EOQ} \right) \cdot m$ Margine di sicurezza

Domanda media nell'orizzonte a rischio (IR + LTA)

HP: ipotizzo che a T, mi accorgo di aver sbagliato a ordinare, quando arriva il materiale? $R + LTA$

Confronto tra EOQ - ROP e il FISSO



Evidenze sperimentali

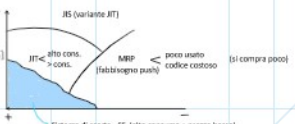
EOQ-ROP: Livello medio di scorte più basso nel modello EOQ-ROP

IR FISSO: Livello medio di scorte più alto del modello EOQ-ROP (a parità di condizioni)

Facile da gestire: Scadenze regolari e frasi di emissione/riordino dell'ordine

Controllo discontinuo del livello delle giacenze

Approccio tipico aziendale - mix di tutto (sapere cosa funziona meglio e dove): Ci sono più o meno modi per capirlo, ma il più usato è basato su una classificazione che considera due principali driver: valore unitario e consumo



Il grafico ha un problema: da indicatori ma non ha numeri sopra (approccio qualitativo). La sua applicazione nella realtà consiste nel valutare soluzioni alternative (almeno inizialmente)

Si decide il metodo migliore per ogni codice

Da il piano per ogni componente

FFEP - Plan For Every Part

ESERCIZIO 10

- MAKE OR BUY

$EOQ_{max} = \sqrt{\frac{25 \cdot 1000}{1} \cdot \frac{1}{2.5}}$

$y = \frac{Y}{N} = \frac{4800}{250} = 19.2 \text{ €/pezzo}$

$\frac{2 \cdot 4800 \cdot 9500}{5} = 434.1 = 434 \text{ €/lotto}$

Da valutare se si è in grado di produrli o si hanno vincoli impiantistici (in quanto caso si riesce a produrli - lot for lot)

$C_{tot} = P \cdot \frac{C}{EOQ} + \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{EOQ} \cdot \frac{25 \cdot 1000}{2.5}$

$10.52 \cdot 9300 = 97.92 \cdot \left(\frac{4800}{EOQ} \right) + \frac{1}{2} \cdot 434 \cdot \frac{EOQ}{9500}$

$ROP_{max} = Y \cdot (T + \tau) = 19.2 \cdot 3 = 57.6$

$EOQ_{buy} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4800 \cdot 9500}{1}} = 194.6 \approx 195 \text{ €/lotto}$

Verificare che il fornitore sia in grado di fornire tutti i pezzi (lot for lot)

$C_{tot} = P \cdot \frac{C}{EOQ} + \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{EOQ} \cdot \frac{25 \cdot 1000}{2.5}$

$10.52 \cdot 9300 = 97.92 \cdot \left(\frac{4800}{EOQ} \right) + \frac{1}{2} \cdot 434 \cdot \frac{EOQ}{9500}$

$ROP_{buy} = Y \cdot (T + \tau) = 19.2 \cdot 4 = 76.8$

	Lotto	ROP	Costo TOT
BUY	195	75	98258
MAKE	434	25	95204

Dal punto di vista economico conviene l'alternativa BUY -> Scelgo l'alternativa BUY



Per trovare il valore preciso -> excel

- Modello di flusso IR, LOP

$IR = \frac{N}{Y_{max}} = \frac{N}{n_{max} \cdot n_{min}} = \frac{100}{10 \cdot 10} = 1$

$LOP = \gamma \cdot (n_1 + n_2) + K \cdot n = 1 \cdot 1 \cdot (10 + 10) + 10 \cdot 1 = 30 \text{ P/SS}$

$\sigma_{tot} (n, \omega) = \sigma_{tot} (n_{max}, n_{min})$ Dipende da IR e ROP

PROGRAMMAZIONE OPERATIVA

Risorsa (macchina/operatore/attrezzatura)

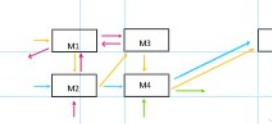
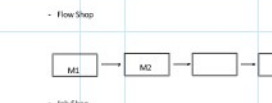
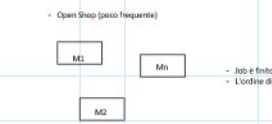
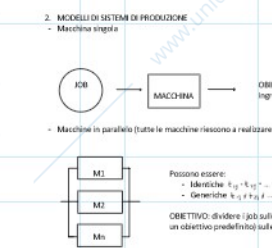
Scopo: Gestione della risorsa tempo per ogni risorsa di produzione (macchina, mano d'opera, servizi) ottimizzando una (diversa) funzione obiettivo nel rispetto dei vincoli della risorsa

LOTTO DA PRODURRE -> RISORSA

Bigliano:

- Caratterizzare dei JOB
- Trovare il modello di sistema di produzione
- Applicare metodi di scheduling per ottenere un risultato "ottimo" rispetto ad un certo obiettivo, conoscendo parametri di prestazione per valutare i risultati prodotti

- HP:
- Risorse note e non modificabili durante lo scheduling
 - Loti da produrre (job) noti in quantità (data di consegna) / tempo di lavoro
 - Tempi di movimentazione trascurabili rispetto a quelli di produzione
 - Non si possono cancellare job durante lo scheduling
 - Loti da produrre non divisibili e/o sovrapposibili (no preemption dei loti)
 - Costi di mantenimento a stock trascurabili



3. PARAMETRI DI PRESTAZIONE

Determinare la soluzione migliore

- LATENCY

$L_j = C_j - d_j$ anticipo < 0
ritardo > 0
 - TARDINESS
 $T_j = \max(0, L_j)$ anticipo = 0
ritardo = L
 - FLOW TIME
 $F_j = C_j - I_j$
 - MAKESPAN (insieme di job)
 $MK = \max(C_j) - \min(I_j)$
 - N° DI JOB IN RITARDO

Tutti i parametri (meno gli ultimi due) sono calcolabili in diversi modi/aggiogazioni
 Questi parametri sono usati per "misurare" la bontà di una schedulazione con diversi modi di calcolo

TECNICHE DI SCHEDULAZIONE

- Trattamento non equitativo, focalizzato su alcune tecniche "utili" per la vita professionale
- Si possono individuare due grandi categorie:
 1. Regole di carico (scheduling rules)
 - Molto semplici
 - Grande campo di impiego (molto flessibili)
 - Non garantiscono l'ottimalità del risultato
 2. Modelli di ottimizzazione (spesso dedicati ad un singolo tipo di modello di produzione)
 - Ottimi (complessi)
 - Euristici

Regole di carico

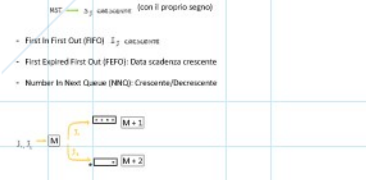
Es. Macchine singola

Job	I_j (h)	t_j (h)	d_j (h)
1	0	3	10
2	0	2	5
3	0	10	15
4	0	3	22

- Earliest Due Date (EDD), in ordine di data di consegna crescente
 EDD: 1, 2, 3, 4
 Primo che entra ↳ Ultimo che entra
- Longest Processing Time (LPT), tempo di lavoro decrescente
 LPT: 3, 1, 2, 4 $(t_3 > t_1 > t_2 > t_4)$
- Shortest Processing Time (SPT), tempo di lavoro crescente
 SPT: 2, 1, 3, 4
- Minimum Slack Time (MST)
 $Slack_j = d_j - t_j - (data di fine produzione - data di consegna)$
 Istante di analisi t=0

1	3	10	7
2	2	5	3
3	10	15	5
4	3	22	19

 Preferire job che hanno meno margine (adrittura negativa)
 MST: 2, 1, 3, 4 (con il proprio segno)



Nota: A volte le regole di carico generano situazioni di parità (ambiguità)

Es. $ms^2 = \{2, 4, 1, 2, 3, 1, 2\}$

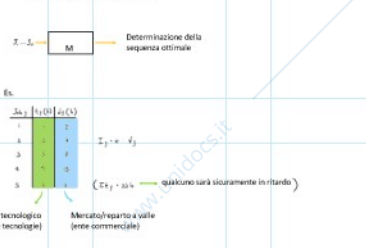
Bisogna generare delle sotto-regole per la risoluzione delle parità (in modo arbitrario)

- Tj più grande
- Tj più piccolo
- Dj più vicina
- Dj più lontana

Scopo: Generare soluzioni alternative (scheduling alternative) da valutare in base alla funzione obiettivo desiderata, esplicitata in uno o più parametri di prestazione

METODI EURISTICI

Macchina singola - Modello di budget
 Obiettivo: minimo n° di job in ritardo



1. Ordina i job secondo la data di consegna crescente - $E = \{1, 2, 3, 4\}$
2. Calcola c_j dall'uso di E_i

E_i	1	2	3	4	5
c_i	0	1	2	3	4

J_k	t_j	d_j	c_j	L_j	T_j	$\max(0, L_j)$
1	1	1	1	-1	0	0
2	2	2	2	0	0	0
3	3	3	3	0	0	0
4	4	4	4	0	0	0

• Ordinati secondo E_i

3. Individua e "chiama" K il primo job in ritardo: Job 3
4. Fra i primi K job (K compreso) togli dalla lista E_i il job con il tempo di lavoro più lungo (max T_j) e mettilo nella lista alternativa (in coda) chiamata J_k
 Primi K job: 3, 2, 1, 4 $(t_3 > t_2 > t_1 > t_4)$ $(c_3 > c_2 > c_1)$ \rightarrow TOGLI J_3
 E_i diventa $E_i = \{1, 2, 4, 1, 2, 4\}$
5. Torna alla fase 2, quindi rischedula $E_i = L_i$

E_i	1	2	4	2
c_i	0	1	3	4

J_k	t_j	d_j	c_j	L_j	T_j	$\max(0, L_j)$
1	1	1	1	-1	0	0
2	2	2	2	0	0	0
3	3	3	3	0	0	0
4	4	4	4	0	0	0

Primi K job: 1, 2, 4 $(t_1 < t_2 < t_4)$ $(c_1 < c_2 < c_4)$ \rightarrow TOGLI J_4

$E_{i,j} = 1,3,5 \quad L = 2,4$

Ripetere la fase 2

Dentro la lista E non c'è più alcun Job in ritardo

Problema: l'algoritmo non dà indicazioni sull'ordine ottimo dei Job nella lista L

SOL 1: $E_{i,j} = 1,3,5 \quad L = 2,4$ SOL 2: $E_{i,j} = 1,3,5 \quad L = 4,2$

In teoria bisogna trovare tutte le permutazioni in L

SOL 1

Job	$t_j(h)$	$c_j(h)$	$d_j(h)$	$L_j(h)$	Job arr	T_j
1	1	1	2	-1	✓	0
2	3	4	2	-4	✓	0
3	1	1	0	0	✓	0
4	9	10	13	1	SI	1
5	7	15	15	15	SI	15

$L_{tot} = 16h \quad \bar{L} = \frac{16}{5} = 3,2h \quad n^{\circ} \text{ Job arr} = 2$

$T_{tot} = 16h \quad \bar{T} = \frac{16}{5} = 3,2h \quad MAX = 15h$

$\Sigma L_j = 16 \quad \Sigma T_j = 16$

SOL 2

4 | 3 | 5 | 2 | 1 | k(i)

Job	$t_j(h)$	$c_j(h)$	$d_j(h)$	$L_j(h)$	Job arr	T_j
1	1	1	2	-1	✓	0
2	3	4	2	-4	✓	0
3	1	1	0	0	✓	0
4	9	10	13	1	SI	1
5	7	15	15	15	SI	15

$L_{tot} = 20h \quad \bar{L} = \frac{20}{5} = 4,0h \quad n^{\circ} \text{ Job arr} = 2$

$T_{tot} = 25h \quad \bar{T} = \frac{25}{5} = 5,0h \quad MAX = 25h$

$\Sigma L_j = 20 \quad \Sigma T_j = 25$

	\bar{L}	\bar{T}	Job arr	MAX
SOL 1	3,2	4,2	2	25
SOL 2	4,0	5,0	2	25

In questo caso la SOL 1 è sempre vantaggiosa $L_1 > L_2 \quad T_1 < T_2$

Hodgson suggerisce la scelta della soluzione con il n° di Job in ritardo minore, ma in caso di parità si deve introdurre un sotto-parametro di scelta

Se usassi le regole di carico?

SEQ: EDD: 1,2,3,5,4

Job	$t_j(h)$	$c_j(h)$	$d_j(h)$	$L_j(h)$	$T_j(h)$	Job arr
1	1	1	2	-1	0	✓
2	3	4	2	-4	0	✓
3	1	1	0	0	0	✓
4	9	10	13	1	1	SI
5	7	15	15	15	15	SI

$L_{tot} = 16h \quad \bar{L} = 3,2h \quad n^{\circ} \text{ Job arr} = 2$

$T_{tot} = 16h \quad \bar{T} = 3,2h \quad MAX = 15h$

SEQ: LPT: 4,5,2,3,1

4 | 5 | 2 | 3 | 1 | k(i)

Job	$t_j(h)$	$c_j(h)$	$d_j(h)$	$L_j(h)$	$T_j(h)$	Job arr
4	9	10	13	1	1	SI
5	7	15	15	15	15	SI
2	3	4	2	-4	0	✓
3	1	1	0	0	0	✓
1	1	1	2	-1	0	✓

$L_{tot} = 24h \quad \bar{L} = 4,8h \quad n^{\circ} \text{ Job arr} = 4$

$T_{tot} = 26h \quad \bar{T} = 5,2h \quad MAX = 25h$

	\bar{L}	\bar{T}	Job arr	MAX
SOL 1	3,2	4,2	2	25
SOL 2	4,0	5,0	2	25
EDD	3,2	4,2	2	25
LPT	4,8	5,2	4	25

HODGSON

Macchine in parallelo - Muntz-Kohnen & Emmons

Obiettivo: minimizzare T totale

HP: Macchine parallele identiche (si può applicare anche a parallele generiche)



- Genera due sequenze alternative dei Job:
 - Dj crescente
 - Sj crescente
- Per ciascuna delle due sequenze assegna gli n Job alle m macchine secondo:
 - Criticamente
 - Macchina più scarica
 - Alta macchina che consente di ottenere il cj il più vicino possibile al dj (preferendo anticipo)
- Combinando i punti precedenti si ottengono 6 casi:
 - Scegliere la soluzione con T totale minimo

ESERCIZIO

Job	$t_j(h)$	$d_j(h)$
1	1	2
2	5	7
3	3	8
4	9	13
5	7	14

J_1, \dots, J_5

perché macchine parallele identiche $t_2 = t_3 = t_4 = t_5$

d_j crescente: 1, 3, 3, 4

d_j casuale: $(d_j - d_j - t_{in-1})$ 1, 4, 5, 4, 3 (condizione parità - preferisci quello con tj minimo)

Caso 1 A: seq: 1, 3, 3, 4, 1 ASS: A - casuale

3 | 4 | 1 | 2 | 5 | k(i)

Job	$t_j(h)$	$d_j(h)$	$c_j(h)$	$L_j(h)$	$T_j(h)$	Job arr
1	1	2	1	-1	0	✓
2	3	4	3	-2	0	✓
3	3	8	4	-4	0	✓
4	9	13	13	0	0	✓
5	7	14	14	1	1	SI

$L_{tot} = 16h \quad T_{tot} = 14h$

$n^{\circ} \text{ Job arr} = 1 \quad MAX = 15h$

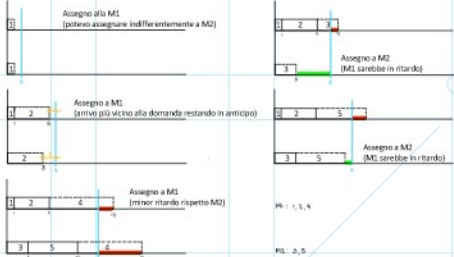
Job	$t_j(h)$	$d_j(h)$	$c_j(h)$	$L_j(h)$	$T_j(h)$	Job arr
1	1	2	1	-1	0	✓
2	3	4	3	-2	0	✓
3	3	8	4	-4	0	✓
4	9	13	13	0	0	✓
5	7	14	14	1	1	SI

Caso 1 B: SEQ: 1, 2, 3, 3, 4 ASS: MACCHINA + CASUALE

1	3	5	2	1	-1	0	✓
2	5	7	6	1	-1	0	✓
3	5	8	5	1	-2	0	✓
4	7	13	11	1	-4	0	✓
5	7	11	11	0	0	0	✓

$L_{opt} = -6h$ $n^{\circ} \text{ job att.} = 1$
 $T_{tot} = 11h$ $MAC = 11h$

Caso 1 C $Seq: 1, 2, 3, 5, 4$ $ASS: C_j \text{ verso } d_j$ (anticipo)



1	1	2	1	-1	0	✓
2	5	7	6	-1	0	✓
3	5	8	5	-3	0	✓
4	7	13	11	-4	0	✓
5	7	11	10	-1	0	✓

$L_{opt} = -6h$ $n^{\circ} \text{ job att.} = 1$
 $T_{tot} = 21h$ $MAC = 13h$

Caso 2 A - 2 B - 2 C

Risultato

Caso	MAC	L_{opt}	T_{tot}	Job att.
3A	15	-6	1	1 (J_1)
3B	16	-6	1	1 (J_1)
3C	15	-4	2	1
3A	16	-2	4	2
3B	16	-2	4	2
3C	15	-2	4	2

Regola: prendere le soluzioni con T totale minore.
 - In questo caso avrai due soluzioni possibili (scegli la prima perché ha 1 MAC inferiore)
 - La sequenza 2 è sempre migliore della seconda (Sequenza con Slack minimo non è la migliore)

Flow Shop a 2 macchine - Algoritmo di Johnson

Obiettivo: ordine di ingresso



- Cerca il job con il t_{1j} minore
- Se il tempo più piccolo è relativo a M1, allora poni il job j in testa alla sequenza. Se il tempo più piccolo è relativo a M2, allora poni il job j in coda alla sequenza.

Es.

J_n	$t_{1j}(h)$	$t_{2j}(h)$	$d_j(h)$
1	3	6	10
2	5	4	7
3	1	3	4
4	4	6	10
5	1	5	26

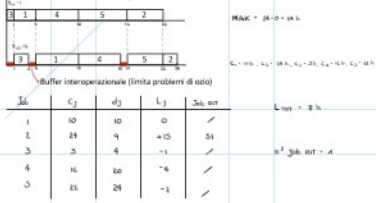
$t_{1j} \text{ min} = t_{11}$ In testa perché su M1

$t_{2j} \text{ min} = t_{23}$ In coda perché su M2

$t_{1j} \text{ min} = t_{13}$ In testa perché su M1

$t_{2j} \text{ min} = t_{22}$ In coda perché su M2

Sequenza ottima: **3 1 4 5 2** J_1, J_3, J_5, J_4, J_2



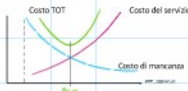
Posso applicare regole di carico?

ES: $seq: 1, 2, 3, 4, 5$

ES: $seq: 1, 2, 3, 4, 5$ (da solo non si può applicare, ma ho bisogno di sottoregole)

MIP può essere a capacità infinita e capacità finita (quasi mai usato). In realtà un approccio tipico è quello di utilizzare un MIP a capacità infinita + pre-filtro su MPS (fattibile) e in più un APS a capacità finita (e più facile memorizzare l'input della capacità produttiva perché si è molto più vicini al momento della produzione) e un approccio tipico poco usato (APS a capacità infinita non particolarmente sviluppati - alternative: APS a capacità infinita = interpretazione umana)

TEORIA DELLE CODE



La teoria delle code è uno degli approcci per affrontare un problema di questo tipo



1 FASE/2 CANALI

Canali: numero di vie alternative che si possono percorrere
Fasi: numero di step consequenti che realizza il processo

HP: Sistema a 1 fase e 1 canale (sistema con un server e più utenti in coda)

Caratteristiche per capire che sistema di cosa si sta affrontando

1. Distribuzione arrivi
2. Distribuzione servizi
3. Disciplina della coda
4. Numero di server (variabile libera - output)
5. Tipo di popolazione
6. Numero di clienti accettabili del sistema

DISTRIBUZIONE ARRIVI

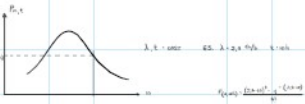
L'arrivo dei clienti viene valutato attraverso due parametri alternativi:

- Numero di clienti in arrivo (n)
- Tempo fra due clienti consecutivi (t)

Entrambi i parametri sono variabili aleatorie
Variabile del numero di clienti in arrivo - n
HP: Distribuzione statistica di Poisson (nella realtà ha una rispondenza reale nei casi applicativi)

$$P(n, \lambda) = \frac{(\lambda \lambda)^n e^{-\lambda}}{n!}$$

Probabilità che arrivino n clienti nel tempo t considerando un certo tasso medio di arrivo (clienti/secondo)



Variable tempo fra due clienti consecutivi
HP: Distribuzione statistica esponenziale negativa con un certo valore medio

$$f(t, \lambda) = \lambda e^{-\lambda t}$$
 (funzione densità di probabilità)

Probabilità che due clienti consecutivi siano distanti di 31 secondi
 $F(t, \lambda) = \int_0^t f(x) dx = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda t}$ (probabilità cumulata - probabilità che due clienti arrivino distanti di un tempo compreso fra 0 e 31 secondi)



Es. Probabilità che si rompano 5 macchinari in 3 giorni? $P_{(5,3)} = \frac{(2 \times 10^3)^5 e^{-2 \times 10^3 \times 3}}{5!}$

Es. Probabilità che due guasti successivi accadano ad una distanza maggiore di 20h? $1 - F(20h)$

$f(20h)$ probabilità parziale che due guasti arrivino distanti di 20 h

$F(20h)$ probabilità che due guasti arrivino distanti tra loro fino a 20 h

$$F(20h) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-2 \times 10^3 \times 20} = 1 - e^{-40000} \approx 1$$

$1 - F(20h) = e^{-\lambda t} = e^{-2 \times 10^3 \times 20}$ Probabilità di avere due guasti con un tempo maggiore di 20 h = 3,4%

DISTRIBUZIONE TEMPO DI SERVIZIO

Tempo di servizio è una variabile aleatoria

HP: Distribuzione esponenziale negativa con un certo valore medio

$$\mu [1/\text{min}]$$

$$g(t, \mu) = \mu e^{-\mu t}$$
 Densità di probabilità



DISCIPLINA DELLA CODA: FIFO - First In First Out

Il sistema prevede che la logica utilizzata sia FIFO

NUMERO DI SERVERI

Spesso rappresenta le variabili da determinare

TIPO DI POPOLAZIONE

Numero di clienti in arrivo >>> Numero di server (popolazione infinita)

NUMERO DI CLIENTI ACCETTABILI

Non ci sono limiti fisici al numero di clienti che possono essere contenuti nel sistema

Condizione di stazionarietà della coda

$$\lambda < \mu$$
 Valori medi

Condizione di stazionarietà (altrimenti si verifica il fenomeno della coda infinita)

Consente di calcolare il numero minimo di serveri

$$n = \lceil \frac{\lambda}{\mu} \rceil$$
 intensità del traffico $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$

Coda

Clienti in sotto servizio

Se vale la teoria delle code, la probabilità di avere n clienti nel sistema

$$P_n = (1 - \rho) \rho^n$$
 (non dimostrata)

Probabilità di trovare fino a n clienti nel sistema? $P_{0 \dots n}$

$$P_{0 \dots n} = P_0 + P_1 + \dots + P_n$$

Es. $\mu = 1$ capacità di servizio di una cassa

$\lambda = 0,5$ (può avere un andamento lineare/più che lineare/men che lineare) - da studiare nel caso $\mu_{eff} < \mu$

$$\mu_{eff} = \mu \rho = 0,5$$

Numero minimo di serveri

$$n = \lceil \frac{\lambda}{\mu_{eff}} \rceil = \lceil \frac{0,5}{0,5} \rceil = 1$$

Es. $\mu = 1$ se il server è una persona

Probabilità di avere 4 clienti in banca? $P_n = (1 - \rho) \rho^n = (1 - 0,5) 0,5^4 = 0,0625$

Probabilità di avere più di 4 clienti in banca? $P_{n > 4}$

$P_{n+1} = P_n + P_n + P_n = P_n$ Probabilità di avere fino a 4 clienti in banca

$$P_{n+1} = P_n + P_n + P_n + \dots + \sum_{i=0}^n P_i = 4P_n$$

Tempo di permanenza/attesa nel sistema è una variabile aleatoria
HP. Distribuzione esponenziale negativa

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Es.

Probabilità che il tempo di attesa sia più di 25 minuti? $1 - F(25)$

$$F(25) = 1 - e^{-(10 \text{ min}^{-1}) \cdot 25} = 1 - e^{-2.5} \approx 0.92$$

$$1 - F(25) = 1 - 0.92 = 0.08$$

Se $n = 4$ (aumentare il numero di server) $\mu = 4 \cdot 10 \text{ min}^{-1} = 40 \text{ min}^{-1}$

$$F(25) = 1 - e^{-(40 \text{ min}^{-1}) \cdot 25} = 1 - e^{-1000} \approx 1$$

$$1 - F(25) \approx 0$$

VALORI MEDI DELLA TEORIA DELLE CODE

1. Numero medio di clienti nel sistema - Ls

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n = \sum_{n=1}^{\infty} n (1-\rho)^n \rho^n = \frac{\rho}{1-\rho}$$

2. Attesa media dei clienti nel sistema - Ws

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

$$W_s = \frac{1}{\lambda(1-\rho)}$$

Si noti che $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\lambda}$ (parametri del sistema)

Vale anche $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\lambda}$ (parametri della coda)

3. Numero medio dei clienti in coda - Lq

$$L_q = L_s - \rho = \frac{\rho}{1-\rho} - \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

4. Attesa media dei clienti in coda - Wq

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho^2}{\lambda(1-\rho)}$$

Modello sugli arrivi

$$\text{VAR: numero di clienti in arrivo } P_{n+1} = \frac{\lambda^{n+1} e^{-\lambda}}{(n+1)!}$$

$$\text{VAR: tempo che intercorre fra due clienti } f(t_{\text{arriva}}) = \lambda e^{-\lambda t}; F(t_{\text{arriva}}) = 1 - e^{-\lambda t}$$

λ [arrivi] - Valore medio della distribuzione (da rilevare sul campo)

Modello sui servizi

$$\text{VAR: tempo di servizio } g(t_{\text{serv}}) = \eta e^{-\eta t}; G(t_{\text{serv}}) = 1 - e^{-\eta t}$$

$$\eta$$

Condizione di stazionarietà

$$\rho_{\text{arr}} = \lambda \cdot \frac{1}{\lambda} = \rho_{\text{serv}} = \eta \cdot \frac{1}{\eta} = \rho_{\text{arr}} = \rho_{\text{serv}} = \rho < 1$$
 (numero minimo di server)

Problema di avere n clienti nel sistema

$$P_n = (1-\rho)^n \rho^n$$

$$P_{n+1} = \rho^n$$

Tempo di permanenza nel sistema (attesa)

$$F(t) = (1-\rho)^n e^{-\lambda t}$$

Numero medio clienti nel sistema Numero medio clienti in coda

$$L_s = \frac{\rho}{1-\rho}$$

$$L_q = L_s - \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

Attesa media clienti nel sistema

Attesa media clienti in coda

$$W_s = \frac{1}{\lambda(1-\rho)}$$

$$W_q = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\lambda(1-\rho)}$$

Es. $\lambda = 10 \text{ min}^{-1}$

$$\mu = 40 \text{ min}^{-1}$$

$$L_s = \frac{10}{1-0.25} = 13.33$$
 (non arrotondare perché è un valore medio)

$$W_s = \frac{1}{10(1-0.25)} = 0.1333$$

$$L_q = L_s - \rho = 13.33 - 2.5 = 10.83$$

$$W_q = W_s \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,88} \cdot 0,33 = 0,375 \text{ h}$$

Determinazione di λ e μ

- Metodo più semplice
 - Fisso un orizzonte temporale T
 - Collezione il numero di clienti arrivati nel tempo T
 - $\lambda = \frac{N_{arr}}{T}$
 - Fisso un secondo orizzonte temporale T
 - Collezione il numero di servizi erogati nel tempo T (da un server - possibilmente serveri diversi)
 - $\mu = \frac{N_{serv}}{T}$

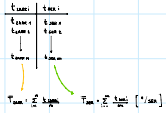
Obiettivo: rilevare valori che siano rappresentativi della realtà (test di adattamento)
 È un modello molto semplice, ma introduce approssimazioni

- Metodo più preciso ma più complesso
 - Collezione puntuale ci tempi di interattivo e tempi di servizio

n (serve) $\neq m$ (serve) Non bisogna fare lo stesso numero di rilevazioni

Misure delle performance sul campo

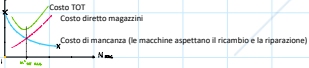
- Limiti normativi (autorizzazioni)
- Comprensione del dato "vero"
- Rilevo dell'istante di arrivo (poi calcolare la differenza)



$$\lambda = \frac{1}{T_{arr}} \quad \mu = \frac{1}{T_{serv}}$$

Esercizio - caso reale

Numero di magazzinieri?



HP. Manutenzione in magazzino = macchina ferma in stabilimento in attesa di manutenzione

$$C_{man} = c_1 \cdot n \quad C_{dir} = c_2 \cdot n \quad C_{manc} = c_3 \cdot \frac{1}{1 - \rho}$$

$$\lambda = \frac{1}{T_{man}} = 0,33 \text{ (Manutentori)}$$

$$\mu = \frac{1}{T_{serv}} = 1 \text{ (Magazzino)}$$

Condizione di stazionarietà $\rho = \lambda < \mu \rightarrow 0,33 < 1$

$$\rho = \lambda / \mu = 0,33$$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{0,33}{1 - 0,33} = 0,5 \text{ numero medio di manutentori in magazzino (nel sistema)}$$

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1 - 0,33} = 1,5 \text{ tempo medio di permanenza di manutentori nel sistema}$$

$$L_q = L_s - \rho = 0,5 - 0,33 = 0,17 \text{ numero medio di manutentori in coda}$$

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = 1,5 - 1 = 0,5 \text{ tempo medio di permanenza di un manutentore in coda}$$

Un possibile modello di costo $C_{tot} = C_{dir} + C_{manc} = C_{dir} + (C_{manc} - C_{man})$

$$C_{tot} = c_2 \cdot n - c_1 \cdot n + \frac{c_3}{1 - \rho} = 0,67 \cdot n + \frac{c_3}{1 - 0,33}$$

$$C_{tot} = 0,67 \cdot n + 0,5 \cdot c_3$$

stima del numero di macchina sempre ferme

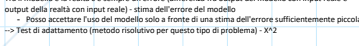
$$C_{tot} = 0,67 \cdot 3 + 0,5 \cdot 200 = 100,5$$

HP. A un manutentore a magazzino corrisponde una macchina ferma in stabilimento

$$C_{tot} = 0,67 \cdot 3 + 0,5 \cdot 200 = 100,5$$

$$\mu = 3 \text{ (1 magazziniere a magazzino da evitare)}$$

VALIDAZIONE DI UN MODELLO



Tra il modello e la realtà c'è sempre un errore (differenza fra output del modello con input reale e output della realtà con input reale) - stima dell'errore del modello

TEST DEL X²

$$F(\lambda_{man}) = 1 - e^{-\lambda_{man} t} \quad (\lambda \text{ [1/min]})$$

$$G(\lambda_{man}) = 1 - e^{-\mu_{man} t} \quad (\mu \text{ [1/min]})$$

Esempio - validazione modello 1

- Dividere dominio di appartenenza della variabile in esame in classi
- Linee guida divisione in classi
 - N° 5-10
 - Tutte popolate (tranne l'ultima)
 - Esistono metodi matematici per la stima del numero delle classi

ESERCIZIO

Classe	N° osserv
0-10	10
10-20	10
20-30	20
30-40	30
40-50	5
50-60	0
60-70	0

Valutare la frequenza di presentazione reale in ogni classe

$$\lambda = \frac{1}{T_{arr}} = \frac{1}{100} = 0,01$$

Costruire il modello 1 (degli arrivi)

$$F(\lambda_{man}) = 1 - e^{-\lambda_{man} t}$$

Stimare frequenza prevista classe per classe per modello 1

Probabilità che due clienti arrivino distanziati fra loro di un tempo FINO A 40 minuti $F(40) = 1 - e^{-40 \cdot 0,01}$

Probabilità che due clienti arrivino distanziati fra loro di un tempo FINO A 20 minuti $F(20) = 1 - e^{-20 \cdot 0,01}$

Probabilità che due clienti arrivino distanti tra 20 e 40 minuti $f(x_1), f(x_2)$

Numero di clienti che arrivano fra 20 e 40 minuti come previsti dal modello (output model) $[f(x_1), f(x_2)]$ (se

(stesso ragionamento per tutte le altre classi eccetto l'ultima)

Numero di clienti per l'ultima classe $n_k = \sum_{i=1}^{k-1} n_i$

Stima errore del modello
Frequenza Reale - Frequenza Prevista

- Calcolare χ^2 campione

$\chi^2_{obs} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{f_{reale} - f_{prevista}}{f_{prevista}} \right)^2$ con χ^2_{crit} è χ^2_{tab} distribuzione statistica degli errori è approssimabile con una funzione χ^2

Si rifiuta ipotesi nulla se $\chi^2_{obs} > \chi^2_{crit}$

buon adattamento del modello

Nella pratica il modello è adattato e quindi accettabile se $\chi^2_{obs} < \chi^2_{crit}$ (non lo puoi scartare)

Parametro tabulato basato sull'ipotesi che la distribuzione statistica degli errori su χ^2 (dipende da 2 parametri: grado di libertà = livello significatività)

GDL: χ^2 numero di parametri del modello ricavati dai dati del campione (nella teoria delle code $p = 1$ perché λ è ricavato dal campione $\lambda = \frac{1}{T_{mean}}$)

numero classi

α - Errore massimo che si commette scartando ipotesi nulla, quando questa in realtà è vera
Condizione più restrittiva
Più grande è Alpha e più è difficile superare il test
Non usato nella pratica

Conclusione finale

- Modello sugli arrivi non adatto quindi da migliorare (se si riesce)
- Modello su servizi: ben adattato

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari