



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

LA GESTIONE DI UN MAGAZZINO

THE MANAGEMENT OF A WAREHOUSE

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **Bevilacqua Maurizio**

Tesi di Laurea di:

Altobella Francesco

A.A. 2019/2020

INDICE

- **1. IL MAGAZZINO**

1.1 Introduzione al magazzino 1

1.2 Tipologie di magazzini 1

1.3 Picking 4

1.4 Politiche di routing 5

- **2. LA GESTIONE DEGLI APPROVVIGIONAMENTI**

2.1 Gestione selettiva delle scorte 7

2.2 Gestione push e pull 9

- **3. TECNICHE DI GESTIONE DEGLI APPROVVIGIONAMENTI**

3.1 Modello EOQ 12

3.2 Modello EOQ con prezzi di acquisto variabili 15

3.3 Modello EOQ con ritardo di consegna 18

3.4 Modello EPQ 20

3.5 Modello EOI 21

3.6 Algoritmi per sistemi a domanda discreta 23

1. IL MAGAZZINO

1.1 INTRODUZIONE AL MAGAZZINO

In questo percorso, all'interno del mondo delle imprese, andiamo a prendere in esame quello che può essere considerato il cuore pulsante dell'organizzazione di un'impresa, ovvero il magazzino.

E' dal magazzino che i prodotti vengono spediti e da qui che vengono poi distribuiti; è dal magazzino che vengono ricavate le principali informazioni inerenti l'andamento aziendale ed è qui che la merce viene temporaneamente depositata. Da una tale definizione, è immediato capire come il magazzino svolga un ruolo fondamentale all'interno di un'impresa, possiamo affermare dunque che il successo di un'impresa dipende dall'ottima gestione di ogni singolo settore della stessa. La gestione del magazzino è un settore tra i tanti, ma riveste, in questo senso, un ruolo spesso molto più importante di altri. Ogni azienda, industriale o commerciale ne possiede uno, si tratta di quel luogo, strettamente connesso sia ai processi produttivi che a quelli di vendita. Il magazzino, dunque, non deve essere visto univocamente come un luogo nel quale conservare la merce, bensì come un sistema ben equilibrato di persone, infrastrutture, tecnologie e mezzi. Per queste ragioni i magazzini meritano un approfondimento che permetta di indagare sull'organizzazione, la gestione e l'elaborazione dei dati e delle informazioni che vengono generate e che fluiscono in questo luogo.

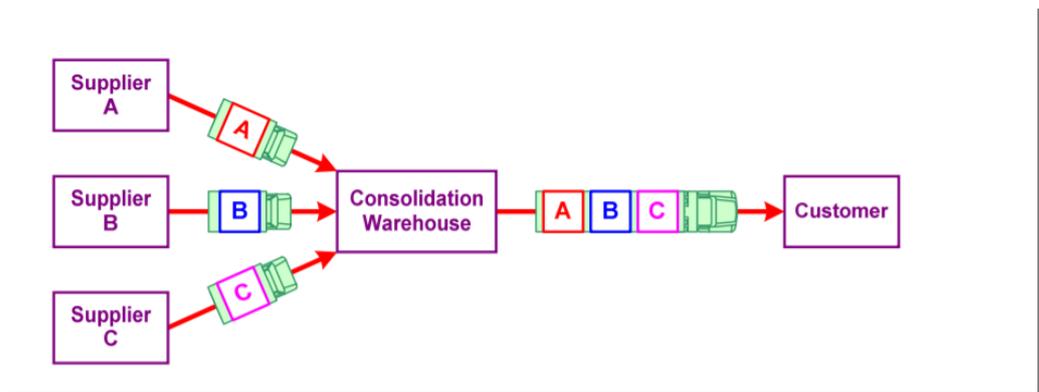
1.2 TIPOLOGIE DI MAGAZZINI

È importante tener presente che i magazzini possono presentare diverse dimensioni, a seconda delle attività aziendali, dei volumi prodotti e movimentati, delle giacenze di merce e dunque della strategia aziendale adottata. Inoltre, possiamo distinguere i magazzini in:

- Magazzini di materie prime. Contengono al loro interno materiali e prodotti che servono per ottenere semilavorati o prodotti finiti;
- Magazzini di semilavorati. Contengono al loro interno materiali chiamati WIP (work in progress), i quali non sono considerati né materia prima né prodotto finito, hanno subito delle trasformazioni ma non sono ancora completi;
- Magazzini di prodotti finiti. Contengono appunto il prodotto finito, composto di tutte le sue parti, idoneo ad essere venduto al cliente finale.

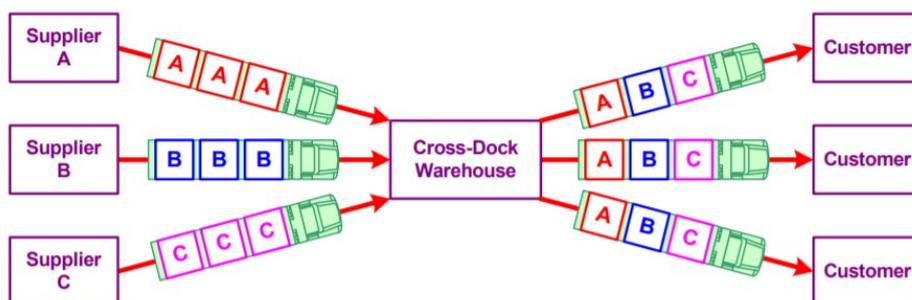
Possiamo effettuare un'ulteriore classificazione di magazzini in:

- MAGAZZINI DI CONSOLIDAMENTO:



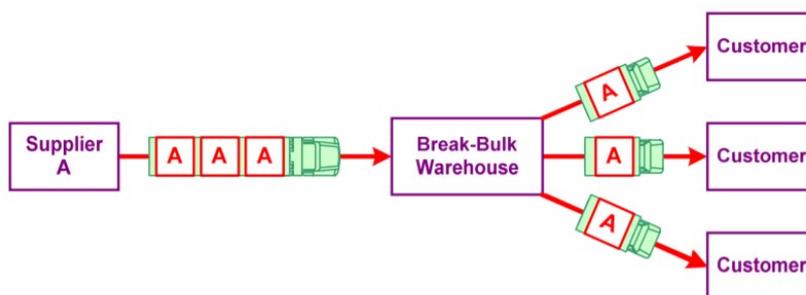
Il magazzino di consolidamento opera raccogliendo prodotti provenienti da più fornitori, in modo tale che questi prodotti possano essere spediti ad un unico cliente. La logica di questo magazzino prevede che i prodotti non arrivino direttamente dal fornitore al cliente, punta invece ad ottimizzare le capacità di carico dei mezzi, per coprire l'approvvigionamento dei prodotti richiesti dal cliente a partire da una serie di fornitori. Invece di spedizioni costose del tipo LTL (less-than-truckload) o spedizioni poco frequenti TL (Full Truckload) da ogni fornitore verso il cliente, il magazzino di consolidamento garantisce spedizioni TL meno costose e più frequenti al cliente. E' dunque un magazzino che ottimizza la capacità di fornitura.

- MAGAZZINI DI CROSS-DOCK



Il magazzino di cross-dock opera raccogliendo in ingresso prodotti provenienti da più fornitori, i quali saranno spediti ai diversi clienti. Questo magazzino disaggrega le forniture provenienti da diversi punti, riaggregandole per i clienti. In tal modo i mezzi che riforniscono il magazzino viaggeranno a pieno carico, da esso partiranno i mezzi di trasporto a pieno carico verso i clienti. Dunque, l'obiettivo è riorganizzare i carichi in modo tale da garantire una migliore efficienza nel sistema di trasporto.

- MAGAZZINI DI BREAK-BULK



Il magazzino viene rifornito da uno o più fornitori, è prevista la disaggregazione dei prodotti in ingresso, in modo che l'approvvigionamento in magazzino avvenga con mezzi a pieno carico. Il carico viene poi disaggregato e, utilizzando mezzi più piccoli che viaggiano sempre in condizioni vicine all'ottimalità, verrà consegnato ai clienti. Normalmente questi magazzini sono posizionati nelle vicinanze dei clienti finali.

L'attività di immagazzinaggio ha come obiettivo quello di soddisfare il cliente minimizzando i costi legati a questa attività. Per minimizzare questi costi, le aziende dovrebbero gestire le proprie attività azzerando le scorte, dunque ridurre al minimo il livello di queste ultime. Nonostante questa considerazione i benefici legati al fatto di avere un magazzino sono molteplici, basti pensare che le funzioni principali di un magazzino sono:

- Smorzare le irregolarità dei consumi;
- Smorzare le irregolarità dei ricevimenti;
- Ottenere flessibilità rispetto alle variazioni del mix produttivo e dei volumi;
- Agevolare la distribuzione e i trasporti;
- Ovviare alla inaffidabilità degli impianti;
- Attutire problemi dovuti a non conformità dei prodotti;

- Cautelarsi per la variabilità della domanda;
- Cautelarsi da fornitori non affidabili.

1.3 PICKING

Uno dei maggiori costi relativi alle attività di magazzinaggio è rappresentato dal picking. Con questo termine si intende il prelievo frazionato di unità di carico di livello inferiore da unità di carico di livello superiore per allestire ordini.

L'evoluzione del mercato ha portato, negli anni, ad un ampliamento della gamma di prodotti, si è dunque arrivati ad avere una riduzione della quantità media per linea d'ordine ma allo stesso tempo un aumento della frequenza di consegna. Si evince che il carico delle attività di allestimento ordini tende ad aumentare ed una corretta gestione di essa risulta essere fondamentale. L'attività di picking è ovviamente preceduta dalla richiesta da parte di un cliente, gli organi amministrativi dovranno allora, in primo luogo, effettuare verifiche di correttezza formale, ovvero verificare che l'ordine non presenti errori, successivamente verificare la solubilità del cliente e dunque la disponibilità di quest'ultimo a pagare. Superata questa fase e verificata la disponibilità del materiale, si potrà procedere con la conferma dell'ordine, l'allestimento e la spedizione.

L'attività di picking può essere svolta in diversi modi, la prima suddivisione da fare è quella tra picking automatico, robot che prelevano le unità di carico e picking manuale che viene a sua volta suddiviso in:

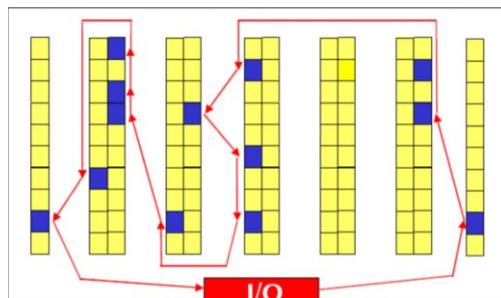
- Operatore verso i materiali. L'operatore effettua il prelievo nell'area di picking guidato da distinta cartacea o da terminale RF/voice. L'operatore potrà servirsi di carrelli a mano, carrelli a motore o anche traslo-elevatori;
- Materiali verso operatore. L'operatore sarà collocato nell'area di picking, le unità di carico vengono prelevate da stock e presentate in sequenza all'operatore il quale preleva il quantitativo specificato sulla picking list su terminale fisso;
- Sistemi di sorting. Dal reparto di stoccaggio vengono trasferite le unità di carico all'area di picking. Qui gli operatori preparano un lotto consistente di ordini e pongono il quantitativo prelevato su un sistema di collegamento che trasferirà il lotto nell'area di sorting. Da quest'area il lotto viene suddiviso nei vari ordini;
- Sistemi pick to box. Ad ogni operatore viene assegnata una zona di prelievo nell'area di picking, queste zone sono collegate tra loro tramite un convogliatore. Su esso scorrono i contenitori, ogni contenitore corrisponde ad

un ordine, dunque l'operatore inserisce gli articoli relativi alla sua zona in modo che il contenitore possa passare alla zona successiva.

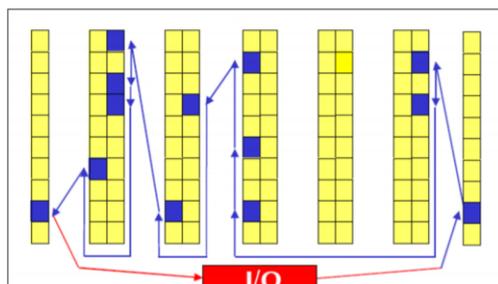
1.4 POLITICHE DI ROUTING

Abbiamo, fin qui, descritto il processo di prelievo delle unità di carico. Passiamo adesso a descrivere le politiche di prelievo di esse:

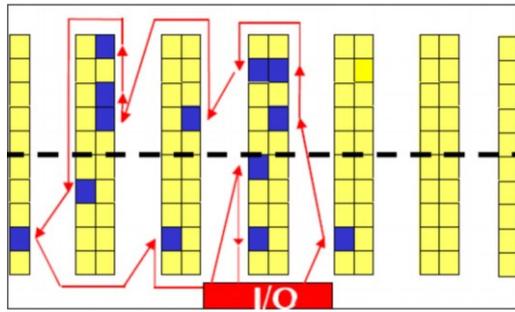
- Percorso traversal. L'operatore entra nei corridoi, nei quali deve effettuare i prelievi e li percorre interamente, uscendo dalla parte opposta rispetto a quella di entrata;



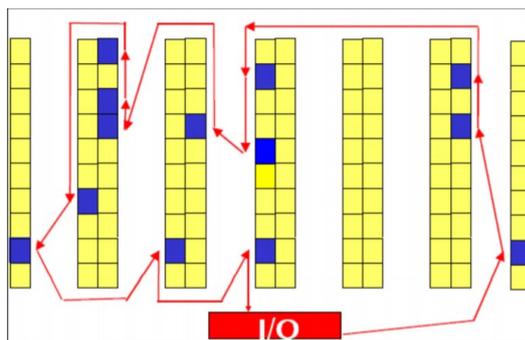
- Percorso return. L'operatore entra nei corridoi, in cui deve effettuare i prelievi e percorre ciascun corridoio fino alla posizione di prelievo più lontana, ritorna indietro ed esce sul medesimo corridoio di collegamento da cui è entrato;



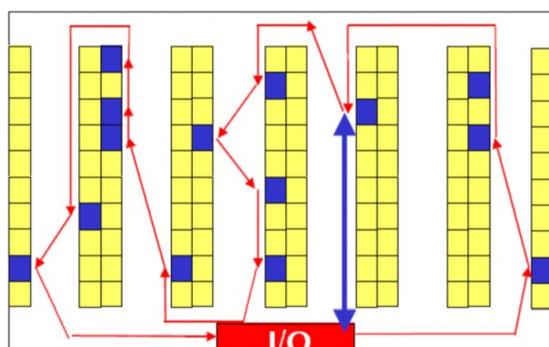
- Percorso mid-point return. L'area di picking viene divisa in due parti, in entrambe le parti l'operatore effettua percorsi di tipo return. Nel primo e nell'ultimo corridoio invece l'operatore effettua percorsi di tipo traversal.



- Percorso largest gap return. Si determina per ciascun corridoio il largest gap, ovvero la massima tra le seguenti distanze: dal punto di ingresso nel corridoio alla prima posizione di prelievo, fra ciascuna posizione di prelievo e la posizione di prelievo contigua, fra l'ultima posizione di prelievo ed il punto di uscita dal corridoio. L'obiettivo è quello di non far percorrere il largest gap all'operatore che utilizzerà un percorso di tipo return, mentre nei corridoi estremi di tipo traversal;



- Percorso traversal modificato. L'operatore percorre interamente tutti i corridoi, tranne quello connotato dal largest gap, il quale sarà percorso con politica return.



2. GESTIONE DEGLI APPROVVIGIONEMENTI

2.1 GESTIONE SELETTIVA DELLE SCORTE

Le aziende che si trovano a gestire un elevato ammontare di articoli non possono di certo gestirli singolarmente, in quanto una procedura del genere richiederebbe molto tempo, elevati costi, nonché molta precisione.

La gestione delle scorte a magazzino può essere, infatti, distinta a seconda dell'importanza che le giacenze hanno nell'intera produzione. Lo strumento adatto per gestire una molteplicità di articoli è quello che consente di identificare quelli più rilevanti: l'analisi ABC, appunto, è lo strumento che consente di fare ciò e quindi focalizzare l'attenzione dell'azienda sugli articoli più importanti in un certo contesto dal punto di vista economico, attraverso una gestione selettiva. Questo metodo di classificazione individua tre classi di prodotto a magazzino in base al valore monetario della loro movimentazione annua. Queste tre classi sono:

- Classe A. Rappresenta il 10-15% degli articoli a magazzino caratterizzati da un valore del 70-80% di esso;
- Classe B. Rappresenta il 20-30% degli articoli a magazzino caratterizzati da un valore del 15-20% di esso;
- Classe C. Rappresenta il 50-60% degli articoli a magazzino caratterizzati da un valore del 5-10% di esso.

La politica non è sicuramente quella di aumentare le scorte per i prodotti appartenenti alla classe A e minimizzarle per quelli della classe C, anzi la politica dovrebbe essere proprio il contrario. Analizzando attentamente, infatti, si può capire come gli articoli della classe A, essendo in grado di garantire un fatturato più elevato, sono anche i più costosi in

termini di immobilizzazione del capitale. Per tale motivo le quantità tenute a stock devono essere il più possibile minime, deve esserci una giusta scorta di sicurezza, quindi non eccessiva. Di conseguenza, tali articoli devono essere gestiti con particolare attenzione, questo significa che le informazioni riguardanti gli articoli di classe A devono essere selezionate dall'ammontare di informazioni presenti all'interno di un elaborato e poi controllarne periodicamente l'andamento. Si tratterà di analizzare con una certa regolarità la situazione aziendale circa le quantità in giacenza, quelle ordinate e quelle disponibili. E' opportuno disporre anche di previsioni il più possibile accurate per quanto riguarda il consumo, ma anche avere un piano di approvvigionamento adeguato; infine, altrettanto importanti sono le verifiche dell'inventario che devono essere consuete e dettagliate. Per la classe C, invece, la situazione è diversa: dato che determinano soltanto una piccola parte del fatturato, non è opportuno monitorare costantemente gli articoli di questa classe, ma è sufficiente effettuare previsioni sommarie e con controlli diluiti nel tempo; la gestione effettuata su questi articoli è abbastanza approssimativa. È possibile quindi trascurare la gestione di questi articoli dato che il loro peso sul fatturato è relativo e complessivamente il loro valore non è elevato; anche se le giacenze fossero elevate il loro peso rimarrebbe comunque ininfluenza. L'analisi ABC comunque, risulta particolarmente utile, nel caso in cui un'azienda controlla periodicamente i risultati in questione, cercando di capire se gli articoli delle varie classi rimangono nelle medesime o cambiano con il tempo, in modo da capire quali articoli influenzano maggiormente il fatturato in maniera non significativa e quindi non incisivi perché, come nel caso analizzato, potrebbe trattarsi di prodotti che ormai sono fuori moda.

Esiste un'estensione all'analisi ABC ovvero l'analisi ABC incrociata, la quale si basa su due caratteristiche dei prodotti presenti a magazzino: valore annuo movimentato e giacenza media espressa a valore. L'analisi ABC incrociata permette di identificare nove classi di articoli.

		Giacenza		
		A	B	C
Valore movimentato	A	AA	AB	AC
	B	BA	BB	BC
	C	CA	CB	CC

- Per le classi AA e BA occorre verificare se risulta possibile diminuirne la giacenza;
- Le classi CA, CC e CB rappresentano articoli scarsamente interessanti per l'azienda, da gestire a periodo di riordino con intervalli elevati;
- Per la classe AC il controllo deve evitare la rottura della scorta;
- Le classi AB, BB, e BC appartengono a classi ben gestite, gestibili con sistemi a punto di riordino.

2.2 GESTIONE PUSH E PULL

La funzione fondamentale delle scorte consiste nel fronteggiare le discontinuità e gli imprevisti che si manifestano nelle diverse fasi operative di acquisto, trasformazione, assemblaggio e distribuzione. Tali discontinuità riguardano l'approvvigionamento, la vendita e l'uniformità del processo produttivo, nonché le difformità, in termini di tempi e quantità, tra le diverse fasi del ciclo di produzione. Le scorte, quindi, assicurano flessibilità negli acquisti, permettendo di ottimizzare le politiche di approvvigionamento, indipendentemente dalle richieste della produzione; garantiscono un efficiente impiego delle risorse produttive quando vi sono più fasi caratterizzate da capacità produttive diverse; infine, rendono uniforme la produzione con la variabilità della domanda del consumatore. Per cui il ruolo delle scorte si articola principalmente nei due aspetti di seguito elencati: attutire le continue fluttuazioni della domanda, uniformando la produzione a fronte della domanda e impostando una produzione stabile e regolare nel periodo.

In secondo luogo, far fronte alle incertezze di produzione o di approvvigionamento. I tempi di produzione o approvvigionamento possono subire alterazioni per svariate cause, interne ed esterne, che spesso rappresentano motivo di ritardo nella consegna e disagio per il cliente finale o per le fasi di lavoro a valle. Le cause esterne sono da attribuire principalmente a ritardi del fornitore, mentre le cause interne possono essere molteplici: guasto di una macchina, richiesta di una modifica, presenza di materiali non conformi. In questi casi le scorte agiscono da polmone e consentono di rimediare ad eventuali ritardi di consegna ed imprevisti tecnici. Risulta fondamentale ai fini di un'azienda, gestire nel modo migliore gli approvvigionamenti. Possiamo immediatamente distinguere due classi di gestione degli approvvigionamenti:

- Gestione PULL. Anche conosciuta con il nome di gestione a scorta, secondo questa logica le scorte giocano un ruolo fondamentale, appena scese sotto un livello stabilito dovranno essere ripristinate. Adatta a prodotti con domanda media pressoché costante nel tempo, è una logica caratterizzata da un sistema gestionale di scarsa complessità, scarsamente dipendente da errori di previsione della domanda ed in fine caratterizzata da un basso rischio di rottura delle scorte. La gestione a scorta si può suddividere in due tipologie: a punto di riordino ed a intervalli di riordino. La metodologia a punto di riordino prevede che vengano ordinate quantità costanti e le giacenze vengano controllate continuamente. Adatta per prodotti di considerevole importanza il cui controllo continuo permette di evitare mancanze in magazzino. La metodologia a intervalli di riordino prevede che vengano ordinate quantità variabili e che le giacenze vengano controllate periodicamente. Adatta per prodotti meno importanti caratterizzati da una domanda minore;
- Gestione PUSH. Anche conosciuta con il nome di gestione a fabbisogno, prevede l'emissione degli ordini di acquisto e inizializzazione alla produzione effettuate in corrispondenza dell'effettivo fabbisogno. Adatta per prodotti la cui domanda risulta essere difficilmente prevedibile e

caratterizzati da un elevato valore unitario per cui risulta oneroso avere elevate quantità a scorta, logica che ci permette dunque di ridurre considerevolmente l'immobilizzo e WIP.

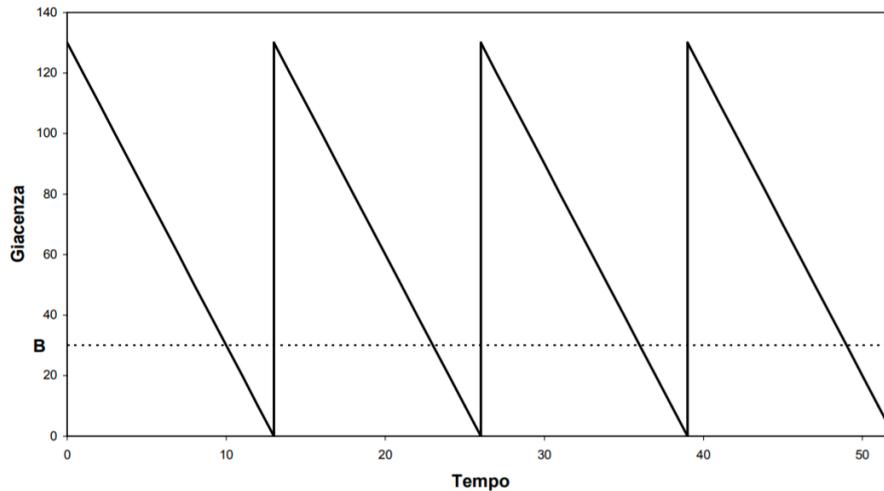
3. TECNICHE DI GESTIONE DEGLI APPROVVIGIONAMENTI

3.1 MODELLO EOQ

Tra le tecniche a punto di riordino rientra il modello EOQ, acronimo di economic order quantity. Questo modello serve per determinare la quantità di prodotto da ordinare in condizioni di controllo continuo delle giacenze con ordini di quantità costanti.

Per determinare la quantità da ordinare bisognerà in primo luogo determinare le voci di costo per la gestione dei prodotti. Il costo totale sarà costituito dalla somma di una serie di costi, ovvero: costo di acquisto, costo di giacenza e costo di emissione ordini. $T_c = \text{costo di acquisto} + \text{costo di giacenza} + \text{costo di emissione ordini}$. Andiamo ad indicare con P il prezzo unitario degli articoli, con D la domanda annua, con Q la quantità da ordinare, con C il costo unitario di emissione ordine, con F un valore percentuale tale per cui il prodotto $F \cdot P$ sia pari al costo unitario delle giacenze.

Possiamo ora esplicitare la funzione del costo totale, prima però andiamo a rappresentare graficamente l'andamento delle giacenze in magazzino in funzione del tempo.



Come possiamo osservare essendo il modello EOQ caratterizzato da una domanda costante la pendenza della retta resta la stessa, mentre la quantità di prodotto scende in modo lineare. Dunque, questo tipo di sistema è caratterizzato da un valore dell'andamento della giacenza nel tempo a dente di sega. La linea orizzontale tratteggiata in figura sta ad identificare il valore limite della quantità presente a magazzino al di sotto del quale è necessario emettere un ordine. Tale quantità che è denominata appunto ROP (reorder point), rappresenta esattamente la quantità di prodotto che viene prelevata dal magazzino durante il tempo di approvvigionamento. Se ad esempio avessi una domanda giornaliera di 20 pezzi/g e un tempo di approvvigionamento pari a 5 giorni allora il ROP sarebbe pari a 100 (20x5).

A questo punto possiamo andare ad impostare l'espressione che ci permetterà di calcolare il costo totale su base annua. $Tc = PD + \frac{PFQ}{2} + \frac{CD}{Q}$

- Il prodotto tra prezzo unitario degli articoli e domanda annua corrisponde al costo di acquisto;
- Il termine $\frac{PFQ}{2}$ rappresenta il costo di giacenza. Questo valore è calcolato in base al valore di giacenza media, difatti con un andamento della giacenza a dente di sega, che vede variare la giacenza da un valore minimo 0 ad un

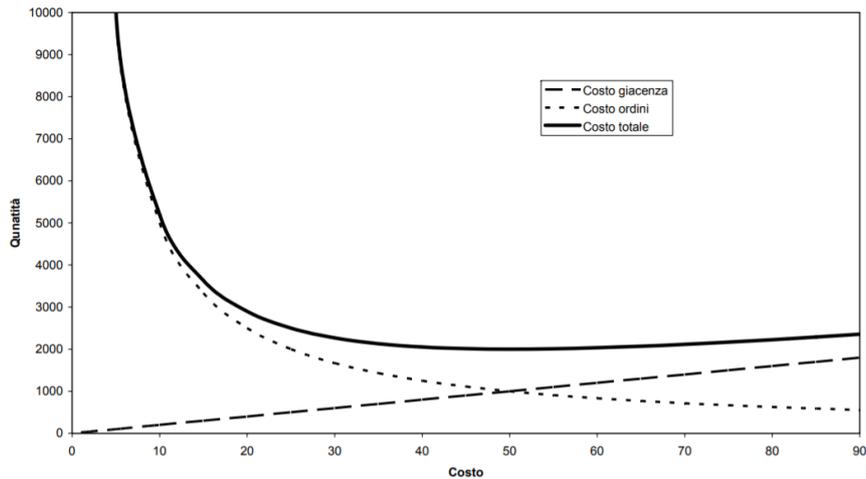
massimo Q , il valore medio è proprio $\frac{Q}{2}$. In tal modo, il prodotto tra il costo unitario delle giacenze e giacenza media corrisponde al costo delle giacenze;

- Il termine $\frac{CD}{Q}$ rappresenta il costo di emissione ordine. Il costo unitario di emissione ordine è pari a C , se durante l'anno abbiamo una domanda complessiva D e ogni volta andiamo ad ordinare una quantità Q , il rapporto $\frac{D}{Q}$ ci fornisce il numero di ordini.

Per trovare la quantità ottima da ordinare andiamo a derivare il costo totale rispetto alla quantità $\frac{dTC}{dQ}$ da qui otteniamo che la quantità ottima da ordinare $Q^*=EOQ=$

$\sqrt{\frac{2CD}{PF}}$. Andiamo ora ad esaminare le informazioni contenute all'interno di questa espressione. Immaginiamo di dovere ordinare articoli con prezzo unitario molto basso, la quantità da ordinare sarà costituita da un valore alto, viceversa articoli caratterizzati da un prezzo di acquisto molto elevato, a parità di domanda, dovranno essere ordinati secondo una politica che frazioni in un numero elevato di ordini la domanda, in modo tale da avere una riduzione di quelli che sono i valori della giacenza. Articoli caratterizzati da un costo di emissione ordini basso, dovrebbero essere ordinati attraverso un numero molto elevato di ordini in piccole quantità, articoli invece con costo di giacenza nullo, dovrebbero essere ordinati con un unico ordine a inizio periodo.

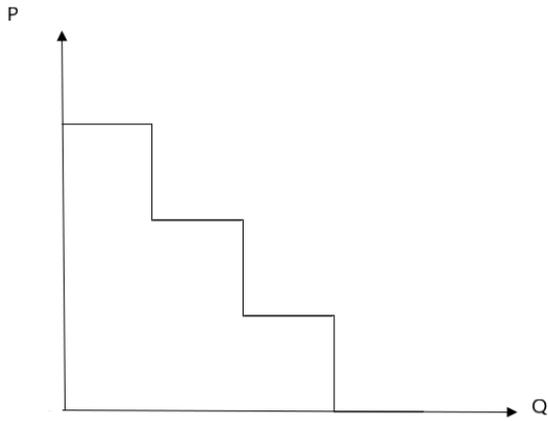
Presentiamo ora un grafico riguardante l'andamento di queste voci di costo:



Il seguente grafico presenta l'andamento dei costi in funzione delle quantità. Come possiamo osservare il costo di giacenza è caratterizzato da un andamento lineare, proporzionale alla quantità, mentre il costo di emissione degli ordini è inversamente proporzionale alla quantità. La funzione somma tra queste due voci di costo mi va ad identificare la voce di costo totale. Ricercando il punto di minimo della funzione di costo totale in una situazione di questo genere esso corrisponde al punto in cui le due voci di costo, costo giacenza e costo ordini, risultano essere uguali. Dunque, la quantità ottima da ordinare, corrispondere al punto minimo della funzione di costo totale ossia il punto in cui le due voci di costo coincidono.

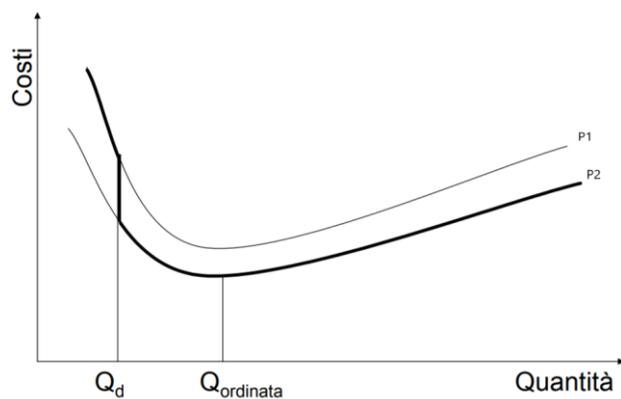
3.2 MODELLO EOQ CON PREZZI DI ACQUISTO VARIABILI

Andiamo ad analizzare ora la situazione in cui il nostro fornitore ci permetta di usufruire di particolari condizioni di scontistica. Abbiamo dunque una politica di prezzo che vede il prezzo costante all'interno di certi intervalli di quantità ordinata, ma che vede il prezzo decrescere sopra certi intervalli di quantità. L'andamento è descritto nel grafico che segue.



Possiamo analizzare diversi casi andando a graficare le curve di costo relative a due valori di prezzo ai quali il fornitore ci permette di accedere rispetto a determinate quantità:

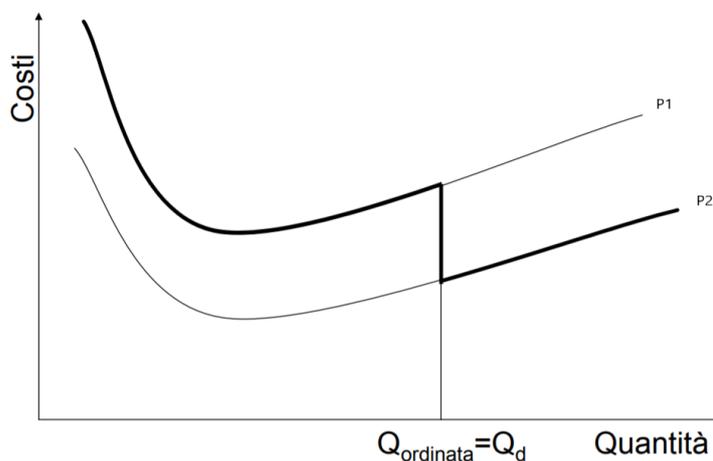
- I CASO



Indicando con Q_d la quantità in corrispondenza di cui c'è variazione di prezzo, possiamo notare come la curva in grassetto rappresenta proprio la curva che dovremmo prendere in considerazione. Questa curva segue l'andamento della curva

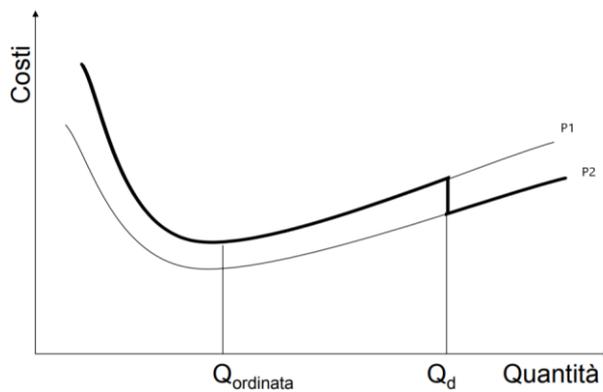
dei costi relativi al prezzo P1, fino alla quantità Q_d , da questa quantità in poi ho la possibilità di usufruire di un prezzo più basso P2, perciò la curva segue quella relativa al prezzo P2. Ottenuta dunque la curva dei costi che mi interessa posso immediatamente ricavare che la quantità ottima da ordinare è individuata dal punto di minimo della curva relativa a P2, ordino dunque un lotto economico di acquisto al prezzo più basso, ordino perciò una quantità minore di Q_d ;

- II CASO



In questo secondo caso avrò la quantità relativa alla variazione di prezzo posizionata, appunto come possiamo osservare in figura. La curva dei costi che prenderò in considerazione, ovvero quella in grassetto, seguirà come nel precedente caso la curva relativa al prezzo P1 fino al raggiungimento del valore di Q_d , dunque ora scenderà in quanto il fornitore mi permette di accedere ad un prezzo minore, la curva prosegue seguendo la curva relativa al prezzo P2. Come possiamo osservare andrò ad ordinare una quantità pari a Q_d , in quanto in corrispondenza di questa quantità posso individuare il minimo della curva di costo relativa a questa situazione;

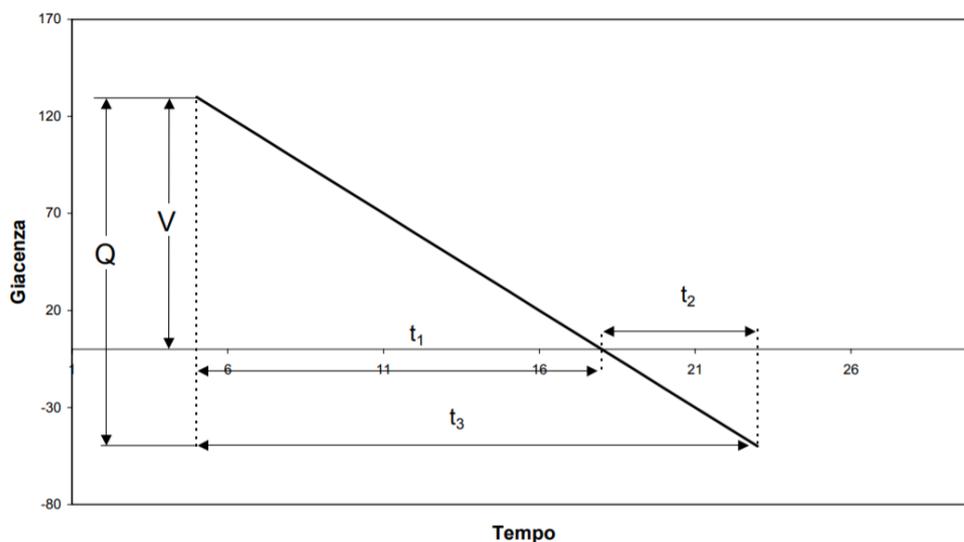
- III CASO



In questo terzo ed ultimo caso la quantità da ordinare corrisponderà al punto di minimo della curva relativa al prezzo P1, per cui vado ad ordinare una quantità minore di Q_d , ordino dunque un lotto economico di acquisto pari al prezzo più basso.

3.3 MODELLO EOQ CON RITARDO DI CONSEGNA

Esaminiamo adesso il modello EOQ con ritardo di consegna. Questo modello prende in esame la possibilità di ritardare una quota parte della consegna di prodotti che sono stati richiesti.



A fronte di una quantità ordinata Q, prevede la consegna senza ritardo di una quota parte V, mentre la parte rimanente Q-V è quella che verrà consegnata con ritardo. Il mantenimento di un prodotto in magazzino ha un costo H=PF, mentre chiameremo K il costo legato al ritardo di consegna di una unità. La ripartizione della quantità da ordinare nelle due quote parti, con e senza ritardo, sarà legata alla relazione che esiste tra il costo di giacenza e il costo del ritardo di consegna. Possiamo allora affermare che qualora il costo del ritardo di consegna fosse decisamente superiore al costo di mantenimento a scorta, non sarà conveniente adottare questo tipo di modello

proposto.

Viceversa, nel caso in cui il costo K avesse un'incidenza bassa su quello che è il costo complessivo, se fosse dunque più basso o molto simile al costo di giacenza, potremmo prendere in considerazione questo modello e di conseguenza consegnare questa quota parte Q-V in ritardo dato che non andremmo incontro ad un onere eccessivo. In questo modo, la scelta del se e quanto prodotto consegnare con ritardo sarà legata al valore numerico del costo unitario di giacenza e del costo unitario di ritardo di consegna. Andiamo ora a valutare le voci di costo di questo modello. Osservando il grafico precedentemente allegato possiamo osservare come rispetto al periodo t_1 , periodo in cui la consegna è effettuata senza ritardo, la giacenza media è pari a $V/2$. Durante il periodo t_2 , periodo che prevede il ritardo nella consegna, il valore medio della mancanza di prodotto è $\frac{Q-V}{2}$. Sapendo inoltre che $t_1 = \frac{V}{D}$, $t_2 = \frac{Q-V}{D}$ e che il costo totale su base annua si ottiene moltiplicando il costo totale per il fattore $\frac{D}{Q}$, posso ricavare la funzione del costo totale su base annua relativa al seguente modello EOQ con ritardo di consegna:

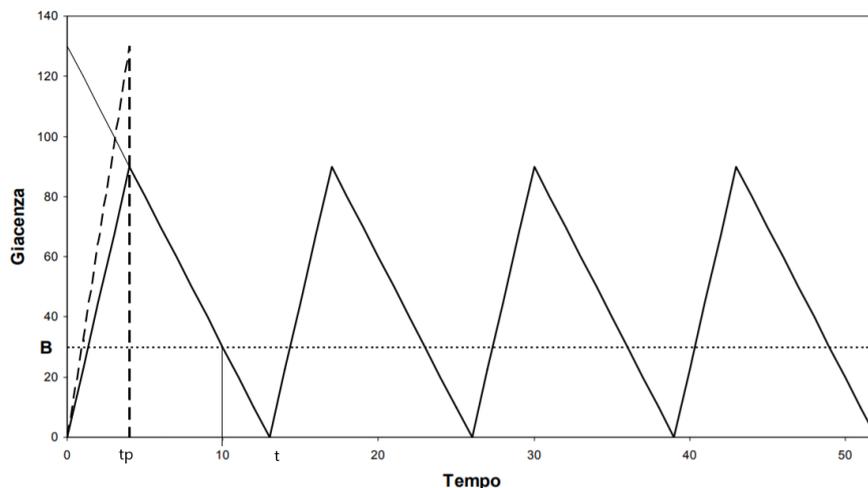
$T_c = PD + \frac{PFV^2}{2Q} + \frac{CD}{Q} + \frac{K(Q-V)^2}{2Q}$. Le variabili di questa funzione sono due, ovvero la quantità Q da ordinare e la quota parte V la cui consegna avviene senza ritardo.

Andando a derivare la funzione di costo totale su base annua rispetto a queste due variabili appena citate, arrivo ad ottenere l'espressione della quantità ottima da

ordinare, $Q^* = \sqrt{\frac{2CD}{PF}} \sqrt{\frac{PF+K}{K}}$ e della quantità ottima la cui consegna è prevista senza ritardo, $V^* = \sqrt{\frac{2CD}{PF}} \sqrt{\frac{K}{PF+K}}$.

3.4 MODELLO EPQ

Appartenente sempre alla classe di strumenti con gestione a punto di riordino, incontriamo il lotto economico di produzione EPQ. Questo viene utilizzato per definire quello che è un piano principale di produzione. Andiamo a graficare questo modello.



Questo modello prevede il riempimento del magazzino in maniera graduale, il cui riempimento è proporzionale alla velocità con cui i prodotti vengono realizzati. Durante il periodo di tempo che intercorre dall'istante zero, all'istante t_p , il magazzino è soggetto a due fenomeni contemporaneamente, ovvero riempimento e prelievo. Dall'istante t_p all'istante t , ovvero istante in cui la giacenza si annulla avremmo solamente prelievo di prodotto. Questo modello opera sempre a punto di riordino, motivo per cui dovremmo andare a lanciare un nuovo ordine di produzione nel momento in cui la giacenza scende al di sotto di un valore prestabilito, ovvero ROP. L'istante che intercorre dal momento in cui l'ordine di produzione viene emesso e il momento in cui la produzione riprende per davvero va a rappresentare il costo di set-up, tempo necessario affinché le macchine possano essere in grado di produrre.

Per calcolare il valore del lotto economico di produzione dobbiamo definire, come fatto fino ad ora, quello che è il costo totale su base annua:

$TC = PD + \frac{CD}{Q} + \frac{PFQ(p-d)}{2}$. In questa espressione il termine C rappresenta il costo di set-up, mentre p rappresenta il ritmo di produzione e d il ritmo di domanda.

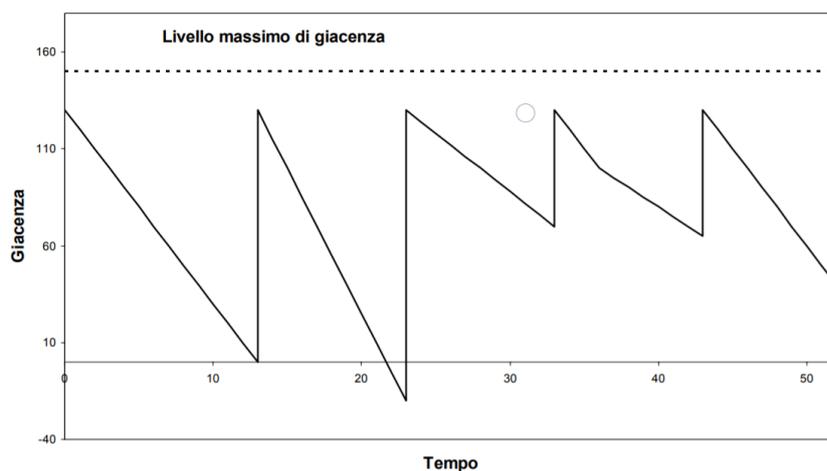
Derivando quando l'espressione del costo totale su base annua rispetto alla quantità otteniamo il valore del lotto economico di produzione

$$EPQ = \sqrt{\frac{2CD}{PF \frac{p-d}{p}}}$$

3.5 MODELLO EOI

Il modello EOI, acronimo di economic order interval, è un modello a periodo di riordino, caratterizzato dunque da un controllo periodico sulle giacenze a magazzino, andremo dunque a controllare lo stato del magazzino ogni tot periodi di tempo.

Questo modello può essere descritto dal seguente grafico.



L'intervallo che intercorre tra l'emissione di un ordine e l'emissione dell'ordine successivo rappresenta proprio l'economic order interval. Come possiamo osservare graficamente l'andamento delle giacenze nel tempo è

molto simile a quello del modello EOQ, immaginando di avere una domanda costante l'andamento del modello EOI sarebbe identico a quello del modello EOQ, seguirebbe ovvero un andamento del tipo a dente di sega. Le differenze fondamentali tra i due modelli sono costituite dal modo di gestire il sistema. Infatti, in un modello del tipo EOI avrò un tempo tra due ordini di tipo costante, ovvero il tempo di interordine, la quantità ordinata è generalmente variabile e il controllo sulle giacenze è periodico. Possiamo dire che la quantità ordinata è variabile in quanto dipende dalla quantità di prodotto che mi servirà e andrò dunque ad ordinare. Nella situazione in cui adopero, in un contesto caratterizzato da domanda bassa, la quantità presente a magazzino sarà superiore ad una situazione caratterizzata da una domanda alta. Nel momento in cui la domanda aumenta considerevolmente, potrei andare incontro al fenomeno della rottura delle scorte, in quanto nel momento in cui vado ad emettere l'ordine potrei trovarmi già nella condizione di mancanze di scorte. Con questa tipologia di gestione, non riesco a sopperire alla rottura delle scorte in quanto non vado a monitorare l'effettivo andamento delle giacenze, ma questo modello prevede, come abbiamo già detto, un controllo delle giacenze in istanti ben definiti di tempo. In tal modo, tutto ciò che accade nel tempo che intercorre tra i vari controlli resta sconosciuto. Per calcolare il valore dell'economic order interval partiamo, come solito, dalla definizione di quello che è il costo totale su base annua, ovvero: $TC = PD + Cm + \frac{PFD}{2m}$, in cui il termine m rappresenta il numero di ordini. Derivando l'espressione del costo totale rispetto al numero di ordini ottengo il valore dell'economic order interval, che corrisponde all'inverso del numero ottimo di ordini: $EOI = \frac{1}{m^*} = \sqrt{\frac{2C}{DPF}}$. Il tempo ottimo che intercorre tra due controlli successivi, ovvero quello che minimizza il costo totale di gestione è esattamente l'economic order interval.

3.6 ALGORITMI PER SISTEMI A DOMANDA DISCRETA

Per domanda discreta si intende una tipologia di domanda che è costante all'interno di ogni periodo ma variabile da periodo a periodo. In presenza di questa situazione dobbiamo utilizzare una politica di approvvigionamento che ci permetta di gestire al meglio la domanda.

Basiamo la scelta della politica da utilizzare su parametri di costo quali costo di emissione ordini e costo di giacenze. Analizziamo ora due algoritmi per la gestione degli approvvigionamenti per sistemi a domanda discreta.

- ALGORITMO PART-PERIOD.

L'algoritmo part-period cerca di ricreare la condizione di ottimo data dal valore di EOQ. Più in particolare, è un algoritmo che suggerisce di ordinare una quantità tale per cui la dimensione dell'ordine racchiuda le quantità relative ad un certo numero di periodi per i quali il costo di emissione ordini risulti superiore al costo di giacenza. Andiamo ad analizzare più nel dettaglio questo algoritmo. Vengono definiti due parametri, il part-period economico EPP e il part-period accumulato APP. Il part-period economico è pari al rapporto costo di emissione degli ordini e costo unitario di giacenza, $EPP = \frac{C}{FP}$, mentre il part-period accumulato mi dà informazioni relative al costo di giacenza in quanto costituisce la domanda per un certo numero di periodi accumulati, in particolare è uguale alla sommatoria per k che va da 1 a T di

$$(k-1)D_k. APP = \sum_{k=1}^T (k-1)d_k$$

Presentiamo un esempio numerico.

periodo	T	domanda D	D _• (T-1)	APP	EPP
1	1	75	0	0	100
2	2	0	0	0	100
3	3	33	66	66	100
4	4	28	84	150	100

Ci poniamo su un orizzonte temporale di 4 periodi, il cui costo di emissione degli ordini $C=100$, il prezzo unitario degli articoli è $P=50$, il valore percentuale $F=2\%$. Da cui possiamo ricavare il valore del part-periodo economico $EPP = \frac{C}{FP} = 100$, e il valore del part-period accumulato relativo ai vari periodi. Possiamo osservare come il valore APP sia inferiore al valore EPP per i primi tre periodi, mentre risulta superiore nel corso del quarto periodo. Questo algoritmo prevede che, nel primo periodo venga emesso un ordine per coprire la domanda relativa ai primi tre periodi, nel quarto periodo verrà emesso un ordine per coprire la domanda relativa appunto al quarto periodo. Come abbiamo già affermato, il seguente modello cerca di riprodurre la condizione di ottimalità del modello EOQ, in particolare, suggerisce di aggiungere quantità da ordinare in un unico ordine fino a quando è verificata la condizione $APP < EPP$, dobbiamo però tenere presente che questo modello non conferisce nessuna garanzia che ci sia il raggiungimento della condizione ottima, risulta però essere un strumento comodo e di semplice applicazione;

- ALGORITMO DI SILVER MEAL.

Il secondo algoritmo per la gestione degli approvvigionamenti per sistemi a domanda discreta prevede il calcolo del costo totale per ogni periodo, tenendo sempre conto del costo di giacenza e del costo di emissione degli ordini. Più in particolare, suggerisce di incrementare la quantità da ordinare fino al periodo in cui il costo complessivo per periodo risulti decrescente, quando ovvero mi trovo nella condizione secondo cui il rapporto tra costo totale calcolato al periodo $T+1$ e numero di periodi risulti essere superiore al rapporto tra costo totale calcolato al periodo T e numero di periodi. Nel momento in cui questa condizione è verificata l'algoritmo prevede di ordinare una quantità per coprire il fabbisogno per primi T periodi. Presentiamo ora un esempio numerico.

periodo	T	D	costo di giacenza PF(T-1) . D	costo di giacenza cumulato	costo totale TC(T)	costo totale per periodo TC(T)/T
1	1	75	0	0	100	100
2	2	0	0	0	100	50
3	3	33	66	66	166	55,33333

Ci poniamo, così, su un orizzonte temporale di 3 periodi, le condizioni sono le stesse dell'esempio dell'algoritmo precedente ovvero: costo di emissione degli ordini $C=100$, il prezzo unitario degli articoli è $P=50$, il valore percentuale $F=2\%$. Le voci di costo che interessano i primi due periodi, corrispondono al rapporto $\frac{C}{FP} = 100$, mentre il costo totale per periodo, posso calcolarlo come il rapporto tra costo totale e numero di periodi la cui conseguenza è osservabile in tabella. Nel terzo periodo entra in gioco una nuova voce di costo, ovvero il costo di giacenza, che mi porterà ad avere un aumento del costo totale e di conseguenza anche un aumento del costo totale per periodo, rispetto al periodo precedente. Ricordiamo come, questo algoritmo, suggerisce di incrementare la quantità da ordinare fino al periodo in cui, il costo complessivo per periodo risulti decrescente, ovvero quando mi trovo nella condizione secondo la quale il rapporto tra costo totale calcolato al periodo $T+1$ e numero di periodi, risulti essere superiore al rapporto tra costo totale calcolato al periodo T e numero di periodi, condizione che si verifica relativamente al periodo tre. Per questa ragione l'algoritmo prevede di emettere un ordine nel periodo 1 per soddisfare la domanda dei periodi da 1 a 2.