



Economia Aziendale Online

Economia Aziendale Online

Business and Management Sciences
International Quarterly Review

CONTROLLO DELLE SCORTE MODELLI DI OTTIMIZZAZIONE

Valentina Beretta, Matteo Navaroni

Pavia, Dicembre 2016
Vol. 7 - N. 4/2016

www.ea2000.it
www.economiaaziendale.it



PaviaUniversityPress

Electronic ISSN 2038-5498
Reg. Trib. Pavia n. 685/2007 R.S.P.

Controllo delle scorte Modelli di ottimizzazione

Valentina Beretta, Matteo Navaroni

Abstract

Il controllo del magazzino, rientrando tra le forme tipiche del controllo manageriale orientato ad ottimizzare i processi della gestione tipica, è indispensabile anche per la formazione del budget delle produzioni e degli acquisti in quanto le quantità da produrre e da acquistare in un dato periodo dipendono dalle quantità programmate in scorta al termine del periodo di riferimento del budget. Per il controllo del magazzino sono stati elaborati numerosi modelli; alcuni, semplici, ipotizzano la conoscenza dei volumi di domanda dei beni stoccati; altri, più sofisticati, suppongono di conoscere tale domanda solo in termini di distribuzione di probabilità. Il presente lavoro si pone come obiettivo l'analisi di tali modelli al fine di enfatizzare l'importanza dell'efficiente gestione del magazzino e delle correlate scorte.

The control of the warehouse, reentering among the typical forms of the managerial control aimed at optimizing the processes of the typical management, it is also essential for the composition of the budget for the productions and the purchases, since the quantities to produce and to purchase at a given time depend on the quantities programmed in the provisions at the end of the period of reference of the budget. For the control of the warehouse, many models have been elaborated; some of them, simple, hypothesize that the volumes of the demand of the stored goods is known; others, more sophisticated, suppose that this demand is known only in terms of probability distribution. The present work aims at the analysis of such models in order to emphasize the importance of effective inventory management and related stocks.

Keywords: magazzino, scorte, controllo scorte, metodo ABC, formula di Wilson

1 – La rilevanza del controllo del magazzino

Il *micro controllo* di gestione, o *controllo operativo*, riguarda le diverse *funzioni* (approvvigionamento, produzione, vendita, logistica, personale, finanza, ecc.) e le diverse *unità operative* (stabilimenti, divisioni, reparti, singoli impianti e/o lavoratori, ecc.) e agisce attivando Sistemi di Controllo a diversi livelli nell'ambito del *micro controllo* di gestione delle trasformazioni "tecnico-strumentali" e, in particolare, della trasformazione *produttiva* e della trasformazione *economica* (Mella, 2014).

Il controllo *economico-produttivo* deve particolarmente concentrarsi su variabili tecniche, che richiedono strumenti di rilevazione e sistemi di controllo di natura tecnica riguardanti *scorte*, *qualità* e *produttività*. In questo lavoro si illustrano le principali tecniche di gestione del magazzino, con particolare riferimento alle variabili sopra citate, come risposta ai cambiamenti degli scenari economici e sociali avvenuti tra il primo ed il secondo millennio (Catufa, 2004). In particolare, questo Paper intende applicare la disciplina dei Sistemi di Controllo alle diverse funzioni aziendali ed unità operative, enfatizzando la loro interdipendenza sistemica.

Il controllo economico del magazzino rappresenta il risultato di un particolare *calcolo economico-*

Valentina Beretta
valentina.beretta02@universitadipavia.it

Matteo Navaroni
matteo.navaroni@unipv.it

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali – Università di Pavia - Italy

tecnico (Mella, 2014) che si pone, principalmente, l'obiettivo di determinare:

- le quantità ottimali da detenere in magazzino,
- le quantità di rifornimento,
- i tempi di ordinazione,

per conseguire l'obiettivo *superordinato*, posto dalla trasformazione *economica* di minimizzare il *costo* di stoccaggio, e/o l'ammontare del *capitale investito* in scorte.

I tre controlli precedenti vengono definiti, nel complesso, *controllo del magazzino*; esso rappresenta una tra le più utili forme di micro controllo di gestione, sia nelle imprese mercantili, sia in quelle industriali, proprio in quanto, consentendo di ridurre il capitale investito nelle scorte, produce la conseguenza di innalzare il ROI, a parità di risultato operativo, e di ridurre il costo del capitale, se il magazzino, come normalmente accade, risulta finanziato con capitale di prestito (Mella, Navaroni 2012).

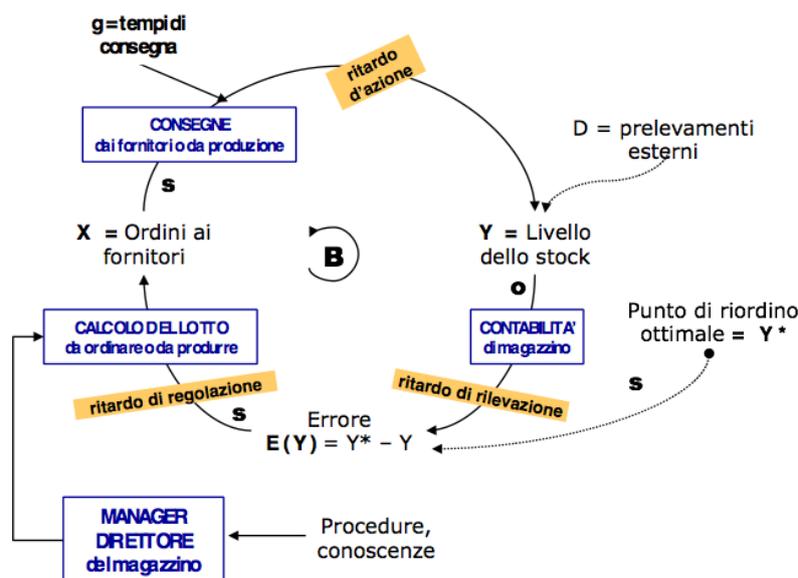


Fig. 1 – Il modello generale del Sistema di Controllo del magazzino

Fonte: Mella P. (2014). *Teoria del controllo. Dal Systems Thinking ai Sistemi di Controllo*. FrancoAngeli, Milano.

La Fig. 1 evidenzia il modello generale del Sistema di Controllo del *magazzino* di un componente o di una materia (Mella, 2014: p. 323) che attua il controllo del raggiungimento del punto di riordino; è tipicamente un sistema per impulsi (Mella, 2014: par. 3, Cap. 3). Il controllo del magazzino, rientrando tra le forme tipiche del controllo manageriale orientato ad ottimizzare i processi della gestione tipica, è indispensabile anche per la formazione del budget delle produzioni e degli acquisti in quanto le quantità da produrre e da acquistare in un dato periodo dipendono

dalle quantità programmate in scorta al termine del periodo di riferimento del budget (Mariani, 2007). Per il controllo del magazzino sono stati elaborati numerosi modelli; alcuni, semplici, ipotizzano la conoscenza dei volumi di domanda dei beni stoccati; altri, più sofisticati, suppongono di conoscere tale domanda solo in termini di distribuzione di probabilità.

In questo studio considereremo i modelli cosiddetti “tradizionali” di controllo, rinviando ad un successivo articolo la presentazione di altri più sofisticati.

2 – Le scorte quale fattore di efficienza e quali sintomi di inefficienza

Le *scorte*, da un punto di vista *materiale*, rappresentano stock di materie, di semilavorati e componenti o di prodotti finiti – oppure di merci e di imballaggi nelle imprese mercantili – conservati nel *magazzino* per un dato periodo. Da un punto di vista *economico*, esse rappresentano *investimenti* monetari aventi una rotazione più o meno elevata, a seconda del tipo di bene in scorta.

Le *scorte funzionali* non sono semplici giacenze (*scorte residue*) o il tentativo di speculazioni sui prezzi (*scorte speculative*) ma il risultato di un processo di stoccaggio, governato da un preciso *calcolo economico*, che tenta di ridurre gli svantaggi connessi alle asincronie dei ritmi aziendali (*utilizzo e produzione*) rispetto a quelli dei mercati (*acquisti e vendite*) e i rischi di arresto dei processi (*scorte minime*) (Mella, 1997; Amodeo, 1987).

Le *scorte* (sarà sottinteso, nel seguito, che ci si riferisce alle *scorte funzionali*), nelle imprese industriali, adempiono contemporaneamente ad una funzione *congiungente* e *disgiungente* per garantire l'*elasticità* dei processi di approvvigionamento, di produzione e di vendita. Adempiono ad una *funzione congiungente* – o di *anticipazione* – in quanto colmano i divari temporali esistenti tra il processo degli approvvigionamenti, quello della produzione e quello delle vendite. Di conseguenza i fabbisogni della produzione e delle vendite possono essere soddisfatti indipendentemente dai ritmi di produzione e di acquisizione delle materie prime e dai ritmi del mercato di vendita.

Al tempo stesso, le scorte adempiono ad una *funzione disgiungente* – o di *disaccoppiamento* – in quanto - se di materie prime - rendono il processo produttivo in parte indipendente da quello degli approvvigionamenti e - se di prodotti - svincolano il processo

di produzione da quello delle vendite (Fornaciari e Garlassi, 2012).

Le due funzioni non possono essere considerate separatamente: le scorte adempiono ad una funzione *disgiungente* proprio in quanto ne assolvono una *congiungente* e consentono di eliminare le asincronie tra processi di acquisto, produzione e vendita (Fornaciari e Garlassi, 2012).

L'obiettivo dell'indipendenza tra ritmi di *produzione* e ritmi di *vendita* è importante in quanto un ritmo di produzione relativamente uniforme si riflette sulla politica degli approvvigionamenti dell'impresa, la quale è in grado di programmare i propri acquisti con regolarità senza necessariamente subire i prezzi dei fornitori. La stabilità degli approvvigionamenti di una impresa *a valle* influisce positivamente sulla stabilità delle produzioni dei fornitori *a monte* con una progressiva razionalizzazione che si estende a tutte le imprese che fanno parte della *supply chain* (Mentzer, 2001).

La stabilità dei processi produttivi favorisce il raggiungimento ed il mantenimento di migliori livelli di qualità delle produzioni (Eroglu, Ozdemir, 2006); l'uniformità produttiva favorisce, tra l'altro, l'applicazione delle tecniche del controllo statistico della qualità (Mella, 2004).

È importante infine ricordare che la politica dell'ottimizzazione del magazzino presuppone che le scorte siano considerate *fisiologiche*; non costituiscono una *ridondanza* ma una necessità operativa, proprio per la loro funzione disgiungente e congiungente; è, pertanto, *necessario renderne ottimo il livello nel tempo*. Questa concezione è tipica nelle imprese *occidentali* nate dalla prima rivoluzione industriale, rigidamente *strutturate* per ottenere ritmi produttivi uniformi, operanti in una economia *non satura*, non sufficientemente informatizzata, con un sistema logistico non avanzato (Potito, 2014).

Ad essa si affianca (e forse si contrappone) la visione delle imprese *giapponesi* (ormai diffusa in tutto il mondo produttivo) (Chianini, 2010) – che si sono scontrate con i problemi industriali dell'economia *satura* – secondo la quale le scorte rappresentano la conseguenza della *rigidità* della produzione e possono – anzi, devono – essere evitate. Occorre eliminarle impostando una politica di *flexible manufacturing*, tendente a produrre con *scorte zero* (Browne et al. 1984; Raouf and Ben-Daya, 1995).

Secondo la politica delle *scorte zero*, le scorte nascono non solo per le asincronie tra processi ma anche perché nei processi stessi si manifesta un *lead time* (Santolini, 2010); occorre eliminarle o ridurle al minimo secondo la concezione che esse:

- non aggiungono valore nel processo produttivo; il valore è generato solo da attività che producono un avanzamento nella lavorazione; esse allungano i *lead time* dei processi, nonché il complessivo il *tempo di*

attraversamento, cioè la durata del processo produttivo, formando scorte che potrebbero essere evitate riducendo o annullando i *lead time*;

- nascondono i problemi di produzione o di vendita; la presenza di scorte nasconde le strozzature o il ridotto coordinamento tra reparti o centri operativi, allontanando la possibilità di percepire l'urgenza di interventi di razionalizzazione per eliminare i problemi;

- ostacolano il miglioramento della efficienza produttiva e commerciale; l'efficienza produttiva può essere misurata con diversi indicatori; due sono particolarmente semplici quanto significative:

$$\text{attraversamento} = \frac{\text{tempo attivo}}{\text{tempo di attraversamento}}$$

$$\text{efficienza produttiva} = \frac{\text{tempo morto}}{\text{tempo attivo}}$$

Il mancato controllo del processo produttivo, reso possibile dalla presenza di scorte, porta a ridurre l'*attraversamento* e ad aumentare l'*inefficienza produttiva*.

In un sistema infrastrutturale produttivo-logistico avanzato, sono state introdotte diverse tecniche per ridurre le scorte verso l'obiettivo *scorte zero*, quali il Material requirement planning (MRP1), il Manufacturing resource planning (MRP2), l'Optimized production technology (OPT), il Flexible manufacturing system (FMS), l'Holonic manufacturing system (HMS), il Computer integrated manufacturing (CIM) e Just in time (JIT) (Mella, 1997; Hall R, Castagna G., Tarizzo G., 1988).

3 – Relazioni tra la politica delle scorte e la politica degli impianti

Dalle considerazioni svolte nel precedente paragrafo appare chiaro che il controllo delle scorte, quando anche considerate fisiologiche, è comunque interrelato con la *politica degli impianti* (Del Favero, 2010).

Tali relazioni devono essere esaminate distinguendo due tipiche situazioni aziendali:

a – l'impresa produce beni la cui domanda presenta un andamento che, entro certi limiti, può essere considerato costante nel tempo;

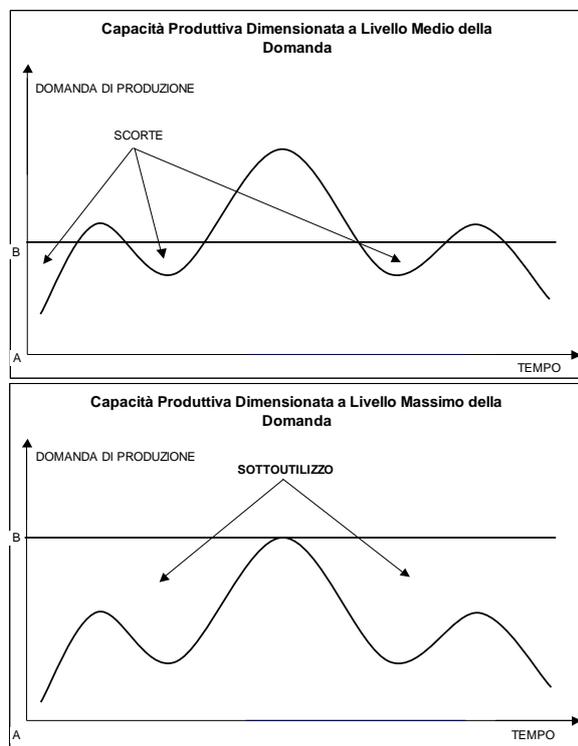
b – l'impresa produce beni la cui domanda è soggetta a forti oscillazioni più o meno ricorrenti nel tempo.

Nella prima situazione (domanda costante) l'impresa può programmare la dimensione degli impianti (e quindi la capacità produttiva disponibile) sulla base del volume costante della domanda. In tale ipotesi le *scorte funzionali* di prodotti possono essere assai limitate e capaci di far fronte alle oscillazioni di

modesta entità che possono manifestarsi nella domanda di breve periodo o ad interruzioni temporanee della produzione. Non possiamo, tuttavia, ignorare che le imprese, di norma, pure in presenza di domanda costante, hanno la convenienza ad acquistare impianti con capacità produttiva superiore a quella sufficiente a fare fronte alla domanda e ciò in previsione di una futura espansione delle vendite. La più efficace dimensione degli impianti risulta da un appropriato calcolo economico degli investimenti, che terrà conto non solo della situazione presente ma anche, e soprattutto, di quella prevista futura, sia per quanto concerne la domanda, sia per quanto riguarda il periodo di utilizzo ed i costi di gestione e di rinnovo.

Nella seconda situazione, cioè quella in cui la domanda presenta *notevoli oscillazioni stagionali*, è necessario attuare una scelta tra diverse dimensioni degli impianti e delle scorte, dimensioni che devono essere decise congiuntamente nell'ambito di una comune politica di produzione e di stoccaggio (Gattuso, 2007).

Fig. 2 – Politica delle produzioni e delle scorte in funzione della dinamica della domanda



Ci sono due soluzioni estreme tra le quali ricercare quella operativamente più conveniente (Imai, 2015):

- gli impianti vengono dimensionati alla domanda media, con produzione costante e formazione di scorte nei periodi di basse vendite (Fig. 2(a)); la capacità

produttiva degli impianti viene utilizzata al massimo livello e con regolarità; per contro, l'impresa si trova ad avere, a periodi alterni, disponibilità di scorte con il relativo costo di stoccaggio;

- gli impianti vengono dimensionati alla domanda massima, con produzione variabile, senza formazione di scorte (Fig. 2(b)); gli impianti installati devono avere una capacità produttiva pari ai livelli massimi di domanda, quindi un costo di acquisto e di manutenzione più elevato; potranno, però, essere utilizzati secondo ritmi variabili e questo rappresenta l'aspetto positivo di assenza di scorte e di costi di stoccaggio.

E' immediato rendersi conto che vi sono situazioni particolari nelle quali la politica degli impianti deve necessariamente essere subordinata alla dimensione della domanda, come accade, ad esempio:

a) nel caso di imprese che ottengono prodotti aventi conservabilità limitata nel tempo;

b) quando i prodotti, pur essendo conservabili fisicamente, non lo siano economicamente, in quanto la loro domanda è grandemente influenzata dalle variazioni della moda e dalle preferenze dei consumatori ed elevato è il rischio del deprezzamento;

c) nel caso delle imprese i cui prodotti non possono essere stoccati in quanto servizi.

Simmetrico è il caso delle imprese che, trasformando materie prime con disponibilità stagionale (zuccherifici, imprese conserviere della frutta ecc.) devono dimensionare la capacità produttiva degli impianti ed i ritmi di utilizzo non tanto dalla domanda del prodotto finito quanto dalla disponibilità delle materie.

4 – La concentrazione del magazzino. Il metodo ABC

Come vedremo più ampiamente in seguito, tenere sotto controllo il magazzino significa ridurre al minimo il costo delle giacenze mantenendo un equilibrio tra gli investimenti richiesti e i rischi per mancanza di scorte. Il controllo del magazzino dovrebbe rivolgersi a tutti gli articoli stoccati, siano essi materie o prodotti da vendere.

Nelle imprese che hanno molti articoli (item) in magazzino, un controllo che si estendesse a tutti gli articoli diventerebbe problematico in quanto il costo per attuarlo sarebbe eccessivo rispetto ai vantaggi in termini di risparmi di costi; solitamente, pertanto, il controllo si rivolge solo agli *articoli* (o *codici* o *item*) il cui valore rappresenta la più consistente parte dell'intero valore del magazzino.

Per individuare gli *item* su cui effettuare il controllo si può procedere con la semplice "tecnica ABC" (Fig. 3). In questo Paper si fa riferimento al metodo derivante direttamente dal principio di Lorenz-Pareto che evidenzia il grado di *concentrazione* del magazzini-

no (Farné, 2010). Esso appare concettualmente semplice in quanto richiede che sia valorizzato il consumo annuo di ciascun articolo stoccato e che siano elencati poi tutti gli articoli in ordine di valore annuo decrescente (Montrone, 2005).

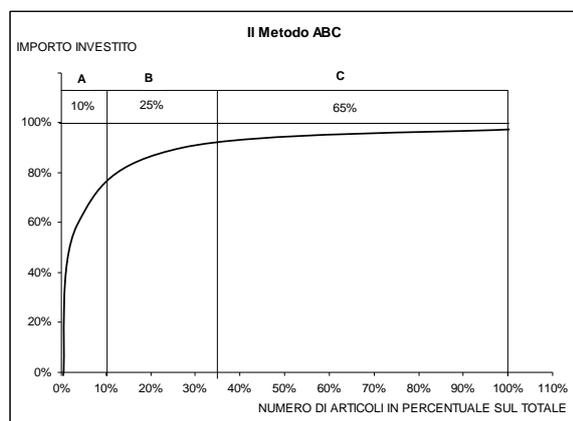


Fig. 3 – Le fasce di valore con il ‘metodo ABC’

Analizzando la *composizione media* del magazzino si rileva in genere che un numero molto limitato di voci, circa il 10%, determina un'elevata percentuale del valore dell'intero magazzino, circa l'80%; il successivo 15% del valore dell'inventario è dovuto al 25% degli articoli stoccati, mentre il rimanente 5% è generato dal 65% degli articoli stoccati.

Tab. 1 – Calcolo della concentrazione del magazzino con la ‘tecnica ABC’

COL. 1 CODICI i	COL. 2 N. PEZZI N(i)	COL. 3 % DI N(i) SU TOTALE	COL. 4 % CUMULATE	COL. 5 VALORE V(i)	COL. 6 VALORE %	COL. 7 % CUMULATA
a	1	7,09%	7,69%	1.200	32,09%	32,09%
b	1	7,69%	15,38%	1.000	26,74%	58,82%
c	1	7,09%	23,08%	500	13,37%	72,19%
d	1	7,09%	30,77%	200	5,35%	77,54%
e	1	7,69%	38,46%	200	5,35%	82,89%
f	1	7,09%	46,15%	150	4,01%	86,90%
g	1	7,09%	53,85%	130	3,48%	90,37%
h	1	7,09%	61,54%	120	3,21%	93,58%
i	1	7,69%	69,23%	100	2,67%	96,26%
l	1	7,69%	76,92%	50	1,34%	97,59%
m	1	7,69%	84,62%	40	1,07%	98,66%
n	1	7,69%	92,31%	30	0,80%	99,46%

La suddivisione degli articoli stoccati in classi ABC può essere utilizzata per predisporre appositi codici in base ai quali nei programmi di calcolo si procede secondo metodi appositamente studiati per l'ottimizzazione delle voci di più rilevante valore (Farné 2010).

La procedura di rilevazione della *concentrazione* del valore nel magazzino può essere compendiata nei passi seguenti.

Indichiamo con N il numero degli articoli (o codici) presenti in magazzino dei quali si vuole effettuare l'analisi e con C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) il valore di consumo dell'i-esimo articolo.

Il primo passo della procedura consiste nel disporre in ordine decrescente gli N articoli sulla base del valore assunto da C_i .

Per comporre un esempio immediatamente comprensibile, supponiamo che nel magazzino vi siano $N = 13$ codici, contrassegnati, per semplicità, dalle lettere progressive dell'alfabeto, e che per ciascuno sia presente un solo pezzo. Impiegando un foglio elettronico si costruisce facilmente una *distribuzione* analoga a quella indicata nella Tabella 1 nella quale si procede, innanzitutto al calcolo del valore totale degli articoli presenti in magazzino che, nell'esempio, risulta di 3740.

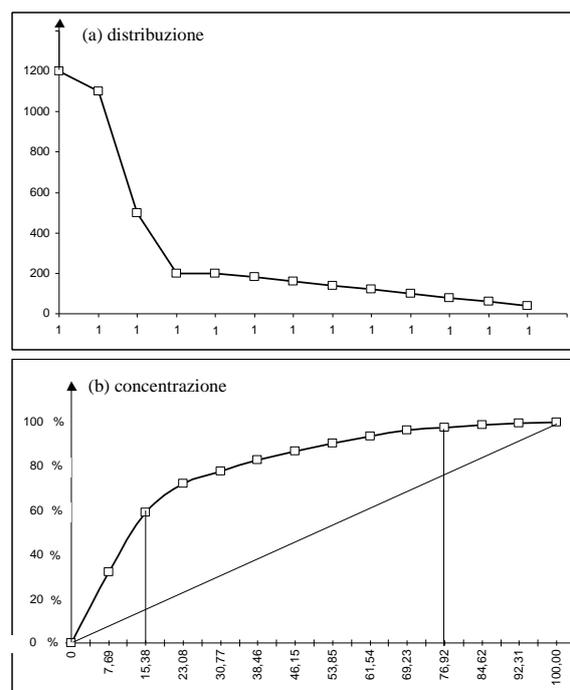


Fig. 4 – Le curve di distribuzione e di concentrazione con riferimento alla Tab. 1

Successivamente si effettua il calcolo del rapporto percentuale tra il valore di ogni singolo articolo e il valore totale (Col. 3 della tabella).

In Col. 4 si effettua il calcolo delle somme cumulate dei rapporti percentuali.

In Col. 5 sono riportati i valori di ciascun codice; nella Col. 6 i valori percentuali e nella Col. 7 le percentuali cumulate di valore.

Ponendo sull'asse delle ascisse e delle ordinate rispettivamente i valori della Col. 4 e della Col. 7, si ottiene la curva di *concentrazione* rappresentabile come in Fig. 4, la quale risulterà tanto più lontana dalla bisettrice degli assi quanto più è concentrato il fenomeno che si studia.

Determinata la concentrazione si individuano tre intervalli, a seconda degli obiettivi del controllo e delle dimensioni del magazzino, sulla cui base è possibile stabilire quali codici debbano essere sottoposti a con-

trollo individuale e quali, invece, ad un controllo più semplice. In Fig. 4 la curva di *concentrazione* è “simile” a quella della *distribuzione* in quanto si è supposta la presenza di un’unità per ogni articolo. Se supponiamo che per ogni articolo siano consumati volumi diversi, come indicato nella Tabella 2, allora la curva di concentrazione di Fig. 5, appare più significativa.

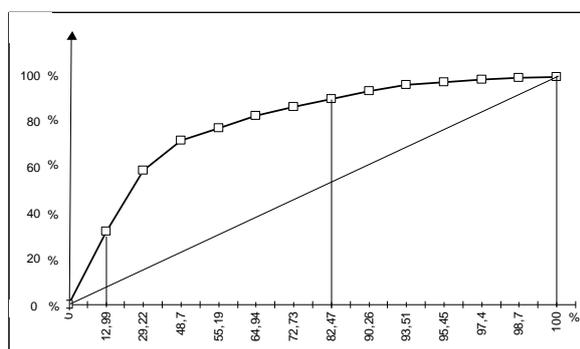
Tab. 2 – Concentrazione con volumi diversi

COL. 1 Codici i	COL. 2 N. PEZZI N(i)	COL. 3 % DI N(i) SU TOTALE	COL. 4 % CUMULATE	COL. 5 Valore V(i)	COL. 6 Valore %	COL. 7 % CUMULATA
a	20	12,99%	12,99%	1.200	32,09%	32,09%
b	25	16,23%	29,22%	1.000	26,74%	58,82%
c	30	19,48%	48,70%	500	13,37%	72,19%
d	10	6,49%	55,19%	200	5,35%	77,54%
e	15	9,74%	64,94%	200	5,35%	82,89%
f	12	7,79%	72,73%	150	4,01%	86,90%
g	15	9,74%	82,47%	130	3,48%	90,37%
h	12	7,79%	90,26%	120	3,21%	93,58%
i	5	3,25%	93,51%	100	2,67%	96,26%
l	3	1,95%	95,45%	50	1,34%	97,59%
m	3	1,95%	97,40%	40	1,07%	98,66%
n	2	1,30%	98,70%	30	0,80%	99,47%
o	2	1,30%	100,00%	20	0,53%	100,00%
Totali	154	100,00%		3.740	100,00%	

Consideriamo, quale ulteriore ipotesi, un magazzino composto da 1.000 *item* il cui consumo annuo a valore sia complessivamente di 300 mila Euro.

Supponiamo, per ogni singolo articolo, di ordinare 3 *lotti* all’anno, pari al consumo di 4 mesi; l’impresa deve allora effettuare 3.000 ordini all’anno, 1.000 per quadrimestre, e il valore di ogni ordine rappresenta il fabbisogno di un quadrimestre, cioè 100 mila.

Fig. 5 – Curva concentrazione di Tab. 2



Nell’ipotesi di consumo uniformemente distribuito il valore medio del magazzino risulta pari alla metà della quantità ordinata e nel nostro caso sarà pari a 2 mesi di consumo, che, espresso in valore, è di 50 mila. Supponiamo che il metodo ABC faccia emergere una composizione del magazzino sulla base delle seguenti classi:

- classe A = 40 mila,
- classe B = 7,5 mila,
- classe C = 2,5 mila

per un totale di 50 mila.

Supponiamo ora di applicare una differente politica di ordinazione per le tre classi A, B, C e precisamente:

- voci di classe A: un ordine al mese (12 *lotti* all’anno),
- voci di classe B: un ordine ogni 4 mesi (3 *lotti* all’anno),
- voci di classe C: un ordine all’anno.

Ricalcolando il nuovo valore medio del magazzino si può constatare che tale valore si è ridotto alla metà, cioè a 25 mila in quanto:

- le giacenze della classe A, essendo quadruplicato il numero degli ordini (da 3 a 12) si riducono a 10 mila (prima erano di 40 mila per 4 mesi),
- le giacenze della classe B rimangono di 7,5 mila (sempre 3 *lotti* all’anno),
- quelle della classe C salgono a 7,5 mila (una sola ordinazione all’anno contro le 3 precedenti).

Anche il numero degli ordini risulta diminuito a 2600 (1200 A, 750 B, 650 C) con conseguente diminuzione dei relativi costi di approvvigionamento.

Queste conclusioni, naturalmente, devono essere integrate con l’analisi del corretto *lotto ottimale di acquisto* – secondo le tecniche che saranno presentate tra poco – ma, in ogni caso, il metodo ABC consentirebbe di evidenziare gli articoli sui quali concentrare il controllo.

5 – La funzione del controllo delle scorte

L’esempio che conclude il paragrafo precedente dimostra come il valore delle scorte di un dato *articolo* dipenda dal numero di riordini per coprirne il fabbisogno complessivo annuo. Le scorte si ridurrebbero drasticamente se i riordini fossero frequenti e per ridotti volumi. La contrazione del numero dei riordini finirebbe, al contrario, per aumentare il valore medio delle scorte.

Ogni processo di ordinazione presenta, tuttavia, costi fissi, inevitabili (Luceri, 1996). Quanto più aumenta il numero di riordini, pur abbassandosi l’investimento in scorte, riducendosi i costi dell’investimento medio, tanto più si incrementa la somma dei costi fissi di riordino.

- Appare allora immediatamente quale sia *il problema fondamentale del controllo delle scorte*: determinare il *livello economico ottimale, fisiologicamente necessario*, delle scorte di ogni articolo significativo (secondo il metodo ABC prescelto) che riduca al minimo i costi del processo di stoccaggio pur mantenendo il livello di stoccaggio ritenuto compatibile con la funzione congiungente e disgiungente (Fornaciari, Garlassi, 2012):

- le scorte di *materie prime* ed i materiali di consumo devono essere in quantità sufficienti alla alimentazione del processo produttivo: l'obiettivo che ci si può proporre deve essere quello di *evitare che, per la mancanza di scorte, si abbiano ritardi nei programmati andamenti produttivi, tempi di inattività delle macchine e del lavoro*;

- le scorte di *prodotti finiti* devono essere scorte in quantità sufficiente all'alimentazione del processo delle vendite *ed evitare che la mancanza di scorte provochi ritardi nell'evasione delle ordinazioni ed eventualmente perdite di clienti*, a tutto vantaggio delle imprese concorrenti.

Tenuti presenti gli obiettivi di cui sopra, il livello ottimale di scorta dipende da tre fattori:

1) *fabbisogno* di materie o di prodotti durante il tempo di approvvigionamento o, il che è lo stesso, la *curva di deflusso* delle materie prime o dei prodotti finiti dal magazzino;

2) il *tempo di approvvigionamento* - o *lead time* - cioè l'intervallo intercorrente tra l'emissione di un ordine di acquisto (materie prime) o di produzione (prodotti finiti) ed il momento in cui è disponibile quanto ordinato;

3) il *costo di approvvigionamento* e di *conservazione* delle scorte che influisce sulla *quantità ottimale di approvvigionamento*.

Se assumiamo l'ipotesi di conoscere gli elementi di cui ai punti a) e b), il livello di scorte risulta essere fondamentalmente funzione dei *costi* connessi alla formazione e al mantenimento dello stock.

6 – I costi e i rischi specifici connessi con la formazione e il mantenimento delle scorte. Costi di conservazione o stoccaggio (CS)

I volumi delle scorte dipendono essenzialmente dalla convenienza allo stoccaggio e dal processo di approvvigionamento, quindi dal bilanciamento tra i vantaggi e gli svantaggi, in termini di costi e rischi, che derivano dalla tenuta del magazzino.

I vantaggi della formazione di stock sono stati considerati a sufficienza nei precedenti paragrafi; rivolgiamo l'attenzione agli *svantaggi* e, soprattutto a quelli esprimibili in termini di costi e di rischi che possono essere raggruppati in tre classi fondamentali:

A) *rate cost*, cioè i costi di stoccaggio, o di conservazione, o di mantenimento in scorta;

B) *acquisition cost*, vale a dire i costi di movimentazione o di approvvigionamento dei lotti dei vari articoli;

C) *storage cost*, cioè costi per rischi connessi allo stoccaggio.

I *costi di conservazione (rate cost, classe A)* che inevitabilmente, per primi, si presentano sono quelli relativi alla *predisposizione dei magazzini in cui conservare le scorte*, vale a dire:

a) i costi inerenti alla predisposizione dello spazio occupato materialmente dai beni in scorta;

b) i costi relativi all'acquisto ed alla locazione degli impianti necessari per la conservazione dei beni stoccati;

c) i costi attinenti agli impianti ed alle attrezzature il cui scopo è di consentire la migliore disposizione dei beni in ordine al loro movimento ed alla loro manutenzione (scaffali, ripiani in cui i beni possano essere facilmente collocati e controllati per verificarne la quantità e lo stato di conservazione);

d) i costi di manodopera per il mantenimento del magazzino;

e) i costi relativi alla contabilità di magazzino;

f) gli oneri finanziari; la formazione delle giacenze comporta, come già sappiamo, un investimento di capitali la cui acquisizione implica il sostenimento di oneri finanziari legati non all'entità fisica delle scorte trasferite nel tempo, ma ai mezzi monetari in essa investiti.

Il costo per il capitale investito in scorte risulta dall'insieme di tre fattori: il valore del capitale investito in una unità di scorta, il tempo durante il quale l'unità viene tenuta a magazzino e il tasso di interesse calcolato o pagato per ogni unità di capitale investito in scorta.

L'entità dei costi che abbiamo appena indicato dipende dalle caratteristiche fisiche dei beni costituiti in scorta; in ogni caso, occorre osservare che molti costi possono essere comuni a diversi stock e che occorre, di conseguenza, risolvere il problema dell'imputazione alle diverse scorte.

Sorge allora la necessità di trovare un criterio per misurare il grado di utilizzazione degli impianti e spesso si assume l'ipotesi – non sempre corretta – di una incidenza proporzionale allo spazio occupato.

In genere, con un attento studio del magazzino, si arriva a stabilire un costo giornaliero medio per unità stoccata (o settimanale o mensile) che a tutti gli effetti rappresenta un *full cost unitario medio di conservazione* per ogni unità stoccata nell'ambito di un accertato, supposto o previsto *volume normale di scorte* (De Bernardi, Devalle, 2014).

Se indichiamo con "cs" il *full cost di stoccaggio* (unitario medio) per unità di tempo, accuratamente determinato, e se una quantità (media) "Q" viene mantenuta in scorta per un periodo $T=365/r$, essendo "r" la rotazione nell'anno del magazzino, allora i costi

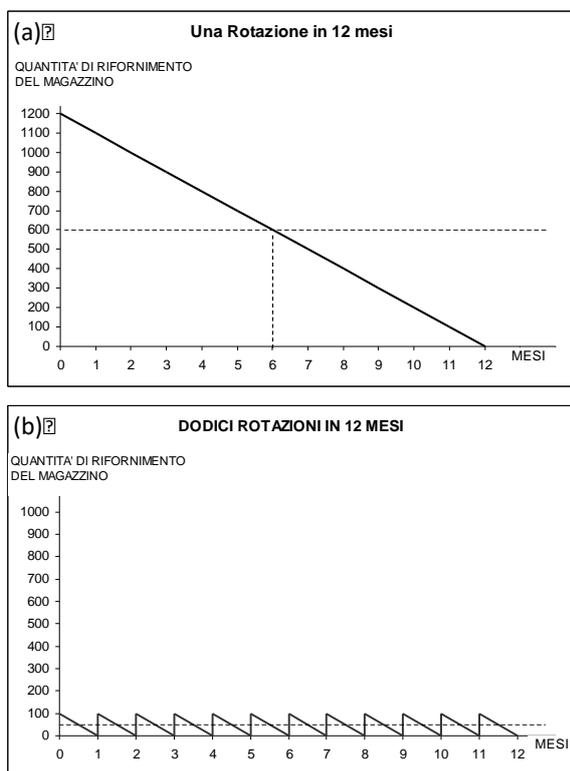
di stoccaggio medi totali (CS), in funzione di “Q” e di “T”, saranno:

$$CS(Q, r, T) = cs \frac{Q}{2r} T \quad [1]$$

La [1] rappresenta la formula generale per il calcolo dei costi di conservazione che appaiono come costi inversamente proporzionali alla rotazione “r” e direttamente proporzionali ai volumi Q ed al periodo di conservazione T.

È facile comprendere come i costi di stoccaggio, essendo proporzionali sia alla quantità Q sia alla durata, T, dello stoccaggio, dipendano dalla *giacenza media di magazzino* che, a sua volta, è funzione del *tasso di rotazione* delle scorte.

Fig. 6 – Giacenza media in funzione della rotazione del magazzino



È evidente che, se supponiamo un periodo di 12 mesi ed un fabbisogno di 1.200 unità nei 12 mesi, e se, per semplificare, supponiamo un unico rifornimento all’inizio di T, equivalente a rotazione pari a 1, per l’intera quantità necessaria di 1.200, che scenderà gradualmente nel corso di T per azzerarsi al termine dei 12 mesi, allora, la scorta media sarà $Q/2r = 600$ e, *in media*, i costi di stoccaggio incideranno per 12 mesi su 600 unità (Fig. 6(a)):

$$CS(Q=1.200, r=1, T=12) = cs \cdot 600 \quad [2]$$

Se supponiamo, invece, di effettuare due rifornimenti, all’inizio dei due periodi $T_1=0$ e $T_2=(1/2)/T$, ciascuno di 6 mesi, per 600 unità ciascuno, allora, la scorta media di ciascun periodo sarà di 300 e anche la scorta media dell’intero periodo T sarà ancora pari a 300. L’aumento della rotazione da 1 a 2 dimezza la scorta media da 600 a 300 per l’intero T; dimezza, pertanto, anche i costi di stoccaggio a livello annuo:

$$CS(Q=1.200, r=2, T=1) = cs \cdot 300 \quad [3]$$

Se per soddisfare la domanda si effettuassero $r = 12$ rifornimenti di 100 unità ciascuno, all’inizio dei 12 periodi uguali pari a $(1/12)T$, allora, la giacenza media per ogni sottoperiodo sarebbe pari a 50; la giacenza media dell’intero periodo T sarebbe pure di 50; pertanto, l’aumento della rotazione da 1 a 12 volte comporta la riduzione della giacenza media da 600 a 50 *per l’intero periodo* T e una riduzione anche dei costi di stoccaggio (Fig. 6(b)):

$$CS(Q=1.200, r=12, T=1) = cs \cdot \frac{1200}{2 \cdot 12} = cs \cdot 50 \quad [4]$$

7 – Segue: Costi di approvvigionamento (CA) e per rischi di stoccaggio

La seconda classe di costi connessi alla formazione delle scorte (*acquisition cost*, classe B)) comprende tutti i costi di *movimentazione*, o di *approvvigionamento*, degli *stock*, cioè i costi attinenti all’ordine e all’immissione dei beni stoccati nei luoghi di conservazione. Sono, prevalentemente, in funzione del numero, dell’ubicazione, della struttura e dell’organizzazione dei magazzini dell’impresa. Riguardano, in genere:

- il costo di esame periodico delle disponibilità esistenti in magazzino;
- il costo della procedura per l’emissione delle richieste di approvvigionamento;
- il costo per la procedura di emissione dell’ordinazione vera e propria al fornitore o alla produzione;
- il costo per la ricezione ed il collaudo dei beni.

Particolari modelli matematici consentono di stimare l’*ubicazione ottimale* dei magazzini in un’impresa avente diversi centri di rifornimento e diversi centri di utilizzo dei beni stoccati.

In ogni caso, comunque sia ubicato il magazzino, lo svolgimento delle operazioni di prelievo e di immissione comporta l’impiego di impianti ed attrezzature, materiali d’uso e di consumo e di mano d’opera i cui costi *non sono proporzionali* ai volumi dei beni stoccati (Q) o alla durata della conservazione (T) ma *variano solo* in relazione al numero dei rifornimenti attuati (r).

I costi di approvvigionamento sono, pertanto, *costi fissi* per ogni rifornimento; se il tasso di rotazione indica anche il numero di rifornimenti allora quanto più il tasso di rotazione è elevato, con riferimento al periodo T, tanto più aumentano i costi di immissione e di prelievo complessivamente sostenuti in T.

Consideriamo infine i *costi per i rischi di stoccaggio* (*storage cost*, classe C) che dipendono:

- dalla possibilità che i beni stoccati subiscano deterioramenti fisici e cali;
- dalla possibilità che subiscano un invecchiamento economico, cioè dalla loro obsolescenza.

I mutamenti qualitativi e quantitativi dei beni in magazzino difficilmente sono soggetti a leggi rigorose e definite, anche se il deterioramento fisico può essere considerato come espressione della natura delle scorte in relazione ad un dato criterio di conservazione. Il danno che l'impresa si trova ad affrontare può consistere nel minor prezzo di vendita (per i prodotti finiti) o peggiori condizioni di impiego (per le materie prime) qualora sia ancora possibile dare una destinazione alle scorte danneggiate. Nei riguardi di questi eventi dannosi, l'impresa può seguire due politiche:

- adottare processi per prevenire il verificarsi dell'evento o per attenuarne gli effetti dannosi;
- stipulare contratti con imprese di assicurazione che, contro pagamento di un premio, si impegnano a risarcire i danni provocati dall'evento previsto in contratto.

L'adozione del primo criterio comporta il sostenimento di costi non strettamente dipendenti dal quantitativo a scorta, mentre nel secondo caso i premi di assicurazione sono in genere proporzionali al valore costituito a scorta ed alla durata del trasferimento. I costi per rischi di stoccaggio, pertanto, pur costituendo una classe distinta dalle precedenti, ai fini dei calcoli dei costi complessivi, possono essere fatti rientrare o tra i costi di stoccaggio, se variabili con Q e/o T, o tra quelli di ordinazione, se correlati a "r".

Nel seguito li considereremo sempre inclusi in una di queste due classi.

8 – Il tasso di rotazione del magazzino (trm) e la durata media (pcm)

Come abbiamo potuto osservare nel Paragrafo 5, quando si deve tenere sotto controllo il magazzino è utile conoscere quante volte, idealmente, il magazzino viene rifornito e si vuota nel corso di un periodo T, relativamente ad un dato articolo o classe di articoli (materie, componenti, prodotti ecc.).

Questo numero di volte si definisce *tasso* o *indice di rotazione del magazzino* – che indicheremo con "trm" – e, a tutti gli effetti, può essere assimilato al tasso "r" di rotazione delle scorte di quel magazzino

(per il bene osservato). Il tasso di rotazione può essere oggetto di una politica aziendale o semplicemente il risultato di un calcolo; in quest'ultimo caso può essere determinato per valori o per quantità fisiche.

Il calcolo del "trm" a *quantità fisiche* è molto utile poiché offre informazioni puntuali sulla rotazione di ciascun articolo stoccato – o su una data classe di articoli esprimibili nella stessa unità di misura – ma necessariamente implica la tenuta di un idoneo sistema di *contabilità di magazzino* in grado di rilevare i movimenti fisici di ogni articolo. La *determinazione per valori* – che può essere attuata anche per l'intero magazzino considerato come valore unitario – implica la tenuta di una contabilità di magazzino meno sofisticata ma offre informazioni meno utili in quanto i risultati risentono della dinamica dei prezzi o dei costi di approvvigionamento oltre che dell'andamento dei movimenti fisici. L'indice di rotazione delle scorte *per quantità fisiche* si quantifica dal rapporto:

$$\text{trm} = \frac{\text{quantità in output nel periodo T}}{\text{giacenza media nel periodo T}} \quad [5]$$

La determinazione della quantità in output, al numeratore del rapporto, può attuarsi:

- *direttamente*, con i dati di prelevamento dal magazzino offerti dalla *contabilità di magazzino*,
- *indirettamente*, con il modello seguente:
output = giacenze iniziali + input = giacenze finali

La determinazione *indiretta* è più semplice, quanto i dati da iscrivere nella precedente espressione si desumono facilmente dall'*inventario fisico*, relativamente alle giacenze, e dalle fatture di acquisto – se si tratta di materie o di merci – o dalle bolle di carico, se si tratta di prodotti finiti. Problemi più rilevanti si pongono per la determinazione della *giacenza media* da iscrivere al denominatore della [5].

Anche in questo caso vi sono due soluzioni:

- se si attuano altre forme di controllo degli approvvigionamenti, che portano al calcolo del *lotto economico* di approvvigionamento, allora la giacenza media può essere posta pari alla metà del lotto economico più le scorte di sicurezza (vedi oltre);

- se si sono rilevati i dati di giacenza, G_1, G_2, \dots, G_K , riferiti a sottoperiodi, per esempio al termine di ciascun periodo T_1, T_2, \dots, T_K , supposti di ampiezza uguale e tali che la loro somma sia pari a T, la giacenza media può essere posta pari alla media aritmetica delle quantità esistenti a fine di ciascuno di tali periodi, aggiungendo le scorte iniziali, G_0 , dividendo, naturalmente, per $K+1$:

$$\text{giacenza media per T} = \frac{G_0 + G_1 + G_2 + \dots + G_K}{K + 1} \quad [6]$$

Un altro dato particolarmente utile per il controllo del magazzino, il cui calcolo è complementare a quello del "trm" è rappresentato dal *periodo di cover-*

tura media (pcm) – o periodo di *durata media*, o di *rifornimento medio* – del magazzino. Tale quantità indica la lunghezza del periodo (in mesi, se il periodo è l'anno, oppure in settimane o in giorni), durante il quale l'impresa ha assicurata la disponibilità delle merci rappresentate dalla giacenza media. Il "pcm" si determina semplicemente dividendo l'intero periodo T di riferimento (nelle unità temporali di misura in cui è espresso) per il "trm". Se il periodo di osservazione è l'anno e l'unità di misura è il giorno, allora il periodo di copertura media, *espresso in giorni* è dato dal rapporto (anno commerciale):

$$\text{pcm} = \frac{360}{\text{trm}} \quad [7]$$

Possiamo quantificare il "pcm", oltre che con la [7], anche tramite il rapporto seguente, con tempo in giorni:

$$\text{pcm} = \frac{\text{giacenza media}}{\text{output medio}} = \frac{\text{giacenza media}}{\text{output}/360} \quad [8]$$

che equivale alla [7].

9 – Calcolo del "trm" e del "pcm" con quantità fisiche. Un esempio

Si supponga di avere rilevato, con cadenza mensile, i carichi (INPUT) e gli scarichi (OUTPUT) di un dato articolo di magazzino, e che i dati siano indicati in Tab. 3.

Tab. 3 – Movimenti mensili di un magazzino

	INIZIALI	INPUT	OUTPUT	GIACENZE
Esistenze iniziali	30			
Gennaio		15	20	25
Febbraio		20	25	20
Marzo		30	25	25
Aprile		20	30	15
Maggio		35	25	25
Giugno		30	20	35
Luglio		30	25	40
Agosto		5	15	30
Settembre		20	25	25
Ottobre		25	30	20
Novembre		20	20	20
Dicembre		25	30	15
Totale	30	275	290	295

Calcolando la giacenza media (GM) come media aritmetica semplice delle complessive giacenze di fine mese, includendo le esistenze iniziali, applicando la [6], otteniamo:

$$\text{GM} = \frac{30 + 295}{13} = 25 \text{ pezzi o unità.}$$

Applicando la [5] possiamo ora determinare il tasso di rotazione con riferimento ad un periodo di osservazione di 12 mesi:

$$\text{trm} = \frac{290}{25} = 11,6 \text{ volte.}$$

Il periodo di copertura media, espresso in giorni, si determina applicando la [7]:

$$\text{pcm} = \frac{360}{11,6} = 31,03 \text{ giorni.}$$

Tale dato ci informa che con la rotazione attuale il magazzino assicura un rifornimento per pcm = 31 giorni.

Applicando la [8], otterremmo lo stesso risultato:

$$\text{pcm} = \frac{25}{290/360} = 31,03 \text{ giorni.}$$

10 – Calcolo del "trm" con dati a valore

Considerando, ora, la determinazione del "trm" per valori, utile specialmente quando il calcolo riguarda l'intero magazzino o gamme eterogenee di merci o prodotti, possiamo applicare semplicemente, la formula:

$$\text{trm} = \frac{\text{valore delle vendite nel periodo T}}{\text{valore giacenza media nel periodo T}} \quad [7]$$

I dati delle vendite sono rilevabili dalla contabilità generale o direttamente dalle fatture.

La [7], nella sua semplicità, offre una misura approssimata, e scarsamente significativa del "trm", in quanto numeratore e denominatore non hanno espressione omogenea: il primo rappresenta ricavi; il secondo è quantificato sulla base di costi di produzione. Per rendere omogenei i due termini, la procedura più semplice è quella di depurare le vendite della percentuale media di ricarico. Se si conosce il ROS (return on sales) si può determinare il *costo del venduto* semplicemente riducendo le *vendite* del ROS su di esse determinate.

La [7] può essere riformulata ponendo al numeratore il costo del venduto, determinato come *full cost complessivo*, con l'espressione:

$$\begin{aligned} &+ \text{RIMANENZE INIZIALI} \\ &+ \text{CONSUMI DI MATERIE DIRETTE E SERVIZI} \\ &+ \text{MANODOPERA DIRETTA} \\ &+ \text{AMMORTAMENTI TECNICI ED ALTRI COSTI DI FABBRICAZIONE} \\ &+ \text{COSTI AMMINISTRATIVI E FINANZIARI RIFERIBILI ALLA} \\ &\text{PRODUZIONE} \\ &= \text{COSTO DELLA PRODUZIONE VENDUTA} \end{aligned}$$

È indispensabile, ovviamente, evitare di includere nel costo del venduto i costi che non si computano nella valutazione delle rimanenze finali di prodotti e merci sotto osservazione. È forse superfluo osservare che nelle imprese con un efficiente sistema di contabilità industriale ed analitica i valori da iscrivere nelle formule precedenti sono desumibili direttamente dai dati della Contabilità analitica o industriale.

Il "trm" calcolato con dati a valore assume il significato di "quante volte il capitale investito in scorte si rinnovi nell'anno". Un aumento del "trm", *ceteris paribus*, riduce l'incidenza del costo del capitale investito, oltre che dei costi di magazzino e dei rischi di obsolescenza.

È intuitivo che, se la rotazione del magazzino è pari a 1 in un anno, significa che 100 Euro investiti in quel magazzino devono essere remunerati per un anno.

Se il costo del capitale investito fosse del 12% all'anno, l'impresa sopporterebbe un costo, appunto, di 12 per dare copertura all'investimento nel magazzino.

Se, però, il "trm" aumentasse a 2, il costo del capitale investito si ridurrebbe a 6; se il trm aumentasse a 3, a 4 e a 6, il costo del capitale si ridurrebbe a 4, a 3 e a 2.

Nella Tab. 4, a titolo orientativo, indichiamo la dinamica del costo del capitale per diverse ipotesi di costo del capitale (indici di colonna della tabella) e per diverse ipotesi di "trm" (indici delle righe della tabella).

11 – Determinazione del lotto economico di approvvigionamento. Le ipotesi della formula di Wilson

Non sempre la ricerca dell'aumento del "trm" appare conveniente.

Se da un lato esso comporta la una riduzione del costo del capitale (Tabella 4), e dei rischi di obsolescenza tecnica ed economica, dall'altro esso implica un aumento nella frequenza degli ordinativi di rifornimento e ciò inevitabilmente produce un aumento dei costi fissi di lancio degli ordini, ed un aumento del rischio di sottoscorta.

Appare necessario, pertanto, ricercare forme di calcolo razionale per ottimizzare direttamente l'ammontare dei lotti di approvvigionamento.

Tab. 4 – Dinamica del costo del capitale investito in magazzino

INDICE ROTAZIONE MAGAZZINO	TASSO INTERESSE SUL CAPITALE INVESTITO IN SCORTE			
	12%	15%	18%	20%
1	12	15	18	20
2	6	7,5	9	10
3	4	5	6	6,67
4	3	3,75	4,5	5
6	2	2,5	3	3,3
12	1	1,25	1,5	1,67
18	0,7	0,83	1	1,11
24	0,5	0,025	0,75	0,83

Definiamo:

– "lotto di approvvigionamento" (o "lotto", semplicemente) la quantità di un dato bene oggetto di una operazione di approvvigionamento;

– "problema del lotto economico", o del "lotto ottimale" (EOQ, da *economic order quantity*) il calcolo della dimensione Q più conveniente da acquistare in ogni ordinazione.

La letteratura relativa all'analisi dell'EOQ è abbondante: Clark, Nahmias, Silver, Urgeletti Tinarelli, Veinott, Wagner e Whiting (Cheng, 2007). In particolare, per determinare l'EOQ sono stati approntati numerosi modelli; alcuni considerano perfettamente noti i parametri che entrano nel calcolo; altri li suppongono noti solo in termini probabilistici. Consideriamo il più semplice tra tutti i modelli – quello denominato modello (o formula) di Wilson – ed applichiamo al calcolo del lotto economico di approvvigionamento di una *materia prima*.

Il modello nella forma *deterministica* si fonda sulle seguenti ipotesi:

1) il *fabbisogno di materie prime* è costante nel tempo e supposto noto, a priori, con certezza, in quanto deriva, per esempio, dal budget dei fabbisogni di materie;

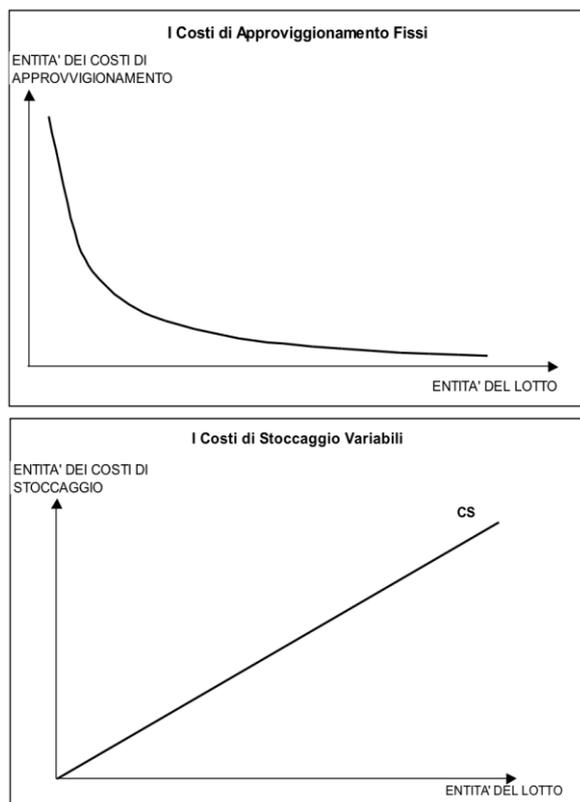
2) il *quantitativo ottimo* da ordinare sia quello che consente un equilibrio conveniente tra i costi di *approvvigionamento* dei lotti (*acquisition cost*) e i costi di *mantenimento* in scorta (*rate cost*), tipicamente variabili in proporzione al volume del lotto acquistato;

3) i *costi di approvvigionamento* risultano *fissi per ogni ordinazione*; sono, cioè, indipendenti dalla quantità di materie acquistate in ogni lotto; sono costi di lotto e non di quantità; pertanto, la loro incidenza sui volumi del lotto diminuisce con l'aumentare dell'entità del lotto acquistato. Il loro andamento può essere così espresso dalla curva di Fig. 7(a);

4) i *costi di mantenimento* delle scorte aumentano con il crescere dell'entità del lotto, come indicato in figura Fig. 7(b), nella quale si è supposta una dinamica lineare (direttamente proporzionale) con il volume acquistato;

5) l'impresa compie i propri acquisti esclusivamente all'esterno; il *prezzo unitario di acquisto* è noto a priori e non varia in funzione della quantità approvvigionata, cioè si mantiene costante qualunque sia la quantità ordinata in ciascun lotto.

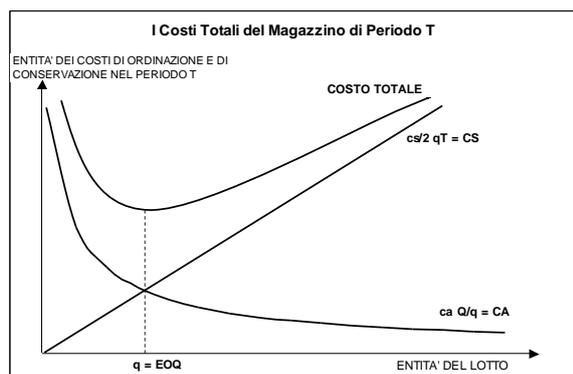
Fig. 7 – Dinamica dei costi relativi ai lotti di approvvigionamento



Sulla base di queste semplici assunzioni possiamo costruire la Fig. 8, riportando gli andamenti di CA e di CS; la somma dei tratti crescenti e decrescenti di tali curve, rappresenta l'andamento del costo totale unitario al variare dell'entità del lotto economico di approvvigionamento.

Dall'esame della Fig. 7 osserviamo che il *costo totale minimo si per la quantità "q" in corrispondenza della quale l'incidenza dei costi di ordinazione eguaglia il costo unitario di mantenimento delle scorte.*

Fig. 8 – I costi complessivi di stoccaggio



La "q" rappresenta il livello del *lotto ottimale di approvvigionamento* (EOQ); cioè la quantità da ordinare perché sia minimo il *costo* di stoccaggio ottenuto dalla somma dei costi di approvvigionamento e dei costi di mantenimento in scorta.

Si può osservare che il costo totale in prossimità (in un "intorno") del punto di minimo decresce ed aumenta di poco al variare di "q" e ciò permette di affermare che piccoli errori nella determinazione del valore di EOQ comportano variazioni non rilevanti nel costo totale del lotto.

12 – Segue: la formula di Wilson

La precedente soluzione può essere ottenuta analiticamente con *la formula di Wilson*, in una delle sue molte varianti (una ricca collezione di moduli di calcolo per ipotesi alternative della formula di Wilson è in Arsham, 2006). Tale formula nasce dalla difficoltà della logistica industriale di minimizzare i costi (Ballou, 1967; Neal, 1962) e si basa sull'ipotesi che lo spazio di allocazione di ciascun elemento nel magazzino sia determinato sulla base dell'analisi dei costi (Wilson, 2007). Nella versione di seguito presentata si suppone ininfluenza la conoscenza del prezzo di acquisto; abbandoneremo in seguito questo assunto semplificato.

Indichiamo con:

- Q, il fabbisogno totale annuo (o relativo al periodo T);
- T, il periodo di riferimento dei calcoli; T = 360 gg. (anno commerciale), oppure 365 gg. (anno solare);
- q = EOQ, l'entità *incognita* del lotto di approvvigionamento;
- q/2, la scorta media (entità iniziale ed entità finale nulle);
- ca, il costo di approvvigionamento di un *singolo lotto* che si suppone fisso, qualunque sia l'entità del lotto;
- CA, il costo di approvvigionamento di tutti i lotti dell'anno;
- cs, i costi di stoccaggio *unitario* per unità di stock a valore e di tempo (per esempio 50 Euro il pezzo per giorno, oppure il 10% del costo di acquisto per settimana); i costi complessivi di stoccaggio saranno, allora, proporzionali all'entità del valore della scorta media, q/2, che si forma con l'acquisto del lotto;
- CS, il costo di stoccaggio di tutto l'anno;
- t, l'intervallo durante il quale si esaurisce la quantità "q" approvvigionata; al termine di t occorre lanciare un nuovo ordine perché "q" si è esaurito;
- n, il numero dei lotti richiesti nell'anno; corrisponde al tasso di rotazione del magazzino,

nell'ipotesi di rimanenze iniziali e finali nulle; si deduce che:

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{T}{t} \quad [10]$$

- $CT = CA + CS$ è il costo totale degli stock nel periodo T .

Per determinare analiticamente l'EOQ è sufficiente calcolare CT come somma delle funzioni dei costi CA e CS ed individuare l'entità di "q" per la quale tale costo risulta minimo.

Il costo, CA , delle "n" ordinazioni in T , si ottiene moltiplicando il costo di approvvigionamento di un lotto, vale a dire "ca", per il numero dei lotti ordinati che, valida la [10], risulta pari a:

$$CA = ca * n = ca * \frac{Q}{q} \quad [11]$$

Il costo di stoccaggio, CS , dipende sia dalla scorta media, $q/2$, sia dal periodo T complessivo (si veda la Fig. 6) e, ricordando che $q = Q/n$, possiamo scrivere:

$$CS = \frac{q}{2} * cs * T = \frac{1}{2} * \frac{Q}{n} * cs * T \quad [12]$$

Risulta immediatamente, dalle [11] e [12], che al crescere di "q" CA si riduce, mentre CS aumenta. Il lotto ottimale di approvvigionamento si determina in corrispondenza della quantità "q" per la quale risulta minimo il costo complessivo di stoccaggio:

$$CT = CA + CS = ca * \frac{Q}{q} + cs * \frac{q}{2} * T \quad [13]$$

Con semplici passaggi¹, otteniamo il desiderato valore del lotto ottimale²:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 ca Q}{cs T}} \quad [14]$$

Poichè abbiamo posto $T=1$, allora la [12] si può scrivere:

¹ Si determina e si annulla la derivata prima di CT rispetto a "q", ottenendosi:

$$CT' = -ca Q \frac{1}{q^2} + \frac{1}{2} cs * T = 0, \quad \text{da cui:}$$

$q^2 = \frac{2 ca Q}{cs T}$ e, quindi, l'espressione di EOQ, considerando unicamente i valori positivi di "q". Poichè la derivata seconda è sempre positiva per ogni valore di q, l'EOQ rappresenta un valore minimo.

² Tale soluzione si sarebbe potuta ottenere direttamente come punto di intersezione tra la curva CA e la curva CS come espresse in Fig. 8.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 ca Q}{cs}} = \sqrt{\frac{2 ca}{cs}} * \sqrt{Q} \quad [15]$$

Avendo introdotto l'ipotesi che ca e cs siano noti con certezza, possiamo porre allora:

$$K = \sqrt{\frac{2 ca}{cs}},$$

così che la [13] si può scrivere in forma semplificata:

$$EOQ = K * \sqrt{Q} \quad [16]$$

Tale espressione dimostra immediatamente come l'entità di EOQ aumenti meno che proporzionalmente all'aumentare del fabbisogno annuo Q .

Noto EOQ si possono determinare:

- il numero dei lotti da ordinare annualmente semplicemente tramite il rapporto:

$$n = \frac{Q}{EOQ} \quad [16]$$

- la durata media di un lotto, cioè il numero di giorni compreso tra l'approvvigionamento e l'esaurimento, tramite il rapporto:

$$t = \frac{T}{n} = \frac{360}{n} \quad [17]$$

13 – Il "punto di riordino" e la "scorta di sicurezza"

Con i risultati del modello presentato al paragrafo precedente siamo in grado non solo di calcolare la *quantità ottimale da ordinare* ma anche di conoscere a quale *data effettuare le ordinazioni*; ma ciò solo al verificarsi di due ipotesi ideali:

- che le materie vengano consegnate senza ritardo (lead time) nell'istante stesso in cui sono ordinate;
- che il fabbisogno di materiali sia costante nel tempo.

Con tali condizioni, si verifica immediatamente che la data in cui lanciare l'ordine di approvvigionamento di EOQ coincide con quella in cui si esaurisce la scorta rappresentata dal lotto precedente. Calcolato, quindi, il numero di unità del lotto, EOQ, e determinato, di conseguenza, il periodo di durata di un lotto, $t = 360/n$, partendo dalla data in cui per la prima volta si verifica la situazione di scorta zero, si lancia un ordine ogni t giorni. Con le nostre ipotesi sappiamo che quando la giacenza del lotto precedente scende a zero, arriva il lotto successivo.

Questa situazione è, però, *irrealistica*; occorre considerare due diverse ipotesi:

- tra la data di lancio dell'ordine e quella in cui le merci arrivano, e sono verificate conformi all'ordine, o collaudate, intercorre normalmente un lead time di durata costante;

- i prelevamenti dal magazzino non sono mai perfettamente regolari.

Tab. 5 – Livello di riordino in ipotesi di prelevamento costante

Giorno di T	Livello di Scorta
1	300
2	280
...	
...	
8	160
9	140
10 ←	120 ←
Data d'ordine (controllo del tempo)	Punto d'ordine (controllo della quantità)
11	100
12	80
13	60
14	40
15	20

Incominciamo ad affrontare il primo fattore di complicazione che ci consente di abbandonare la prima ipotesi.

Osserviamo, innanzitutto, che se il lotto è pari, per esempio, a $q = 300$ unità e $t = 15$ giorni, allora, per l'ipotesi di prelevamento costante, si può supporre che vi sia un fabbisogno giornaliero di $q/t = 20$ unità al giorno.

Se il tempo medio di rifornimento medio fosse di 6 giorni, occorrerebbe lanciare l'ordine 6 giorni prima del termine di t ; ciò può anche essere espresso in termini di *livello di scorta* nel momento in cui occorre lanciare l'ordine, livello che viene definito *punto d'ordine* o *livello di riordino* (*Reorder point*).

Nelle nostre ipotesi il *punto d'ordine* sarebbe pari a 120 unità, corrispondenti al livello di scorta che sarà prelevata nei 6 giorni del lead time.

Ai fini del controllo del magazzino ciò significa che *non occorre tenere sotto controllo il fluire del tempo (ordinare 6 giorni prima dell'esaurimento) ma il fluire delle merci stoccate*, in quanto il riordino deve essere effettuato quando le merci in magazzino scendono a 120 unità.

Se il nuovo lotto arriva puntualmente dopo 6 giorni, allora il magazzino viene rifornito proprio nel momento in cui la scorta va a zero, come si può facilmente verificare dalla Tab. 5.

Affrontiamo ora il secondo fattore di complicazione, quello della *domanda non costante* nel corso del periodo di durata del lotto.

Se il prelevamento dal magazzino non è costante:

- se il fabbisogno durante il lead time fosse superiore a 120 unità si verificherebbe una *rottura di stock*, con evidenti danni per sottoscorta;

- se il fabbisogno fosse invece inferiore a 120 unità si potrebbe ritardare il rifornimento, a tutto vantaggio del costo di stoccaggio.

Per determinare correttamente il *punto d'ordine* occorre pertanto conoscere il fabbisogno medio atteso di materie nel periodo di lead time.

Tale fabbisogno può essere supposto una *variabile casuale* che assume valori inferiori, uguali o superiori al valore teorico di prelevamento costante, con una data probabilità.

Sulla base dell'esperienza (osservazioni ripetute), si potrebbero trovare, ad esempio, i valori di Tab. 6.

Tab. 6 – Il fabbisogno di prelievo come variabile casuale

FABBISOGNO S(n)	PROBABILITÀ p(n)
100	2%
105	3%
110	8%
115	15%
120	42%
125	18%
130	8%
135	3%
140	1%
	100%

Di questa variabile casuale $S(n)$ che assume la tipica forma *gaussiana* possiamo calcolare il *valore medio probabilistico* (F), che rappresenta la quantità da tenere normalmente in scorta nel periodo:

$$S = \sum_{n=1}^N S(n) * p(n) \quad [17]$$

nonché la varianza probabilistica, che informa sul grado di incertezza del valore medio:

$$\sigma(S)^2 = \sum_{n=1}^N [S(n) - S]^2 * p(n) \quad [18]$$

Lo scarto quadratico medio:

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{n=1}^N [S(n) - S]^2 * p(n)} \quad [19]$$

indica il numero di unità che in media superano il fabbisogno medio (in questo caso si produce la rottura dello stock con sottoscora) o sono inferiori al fabbisogno medio (in questo caso si ha una abbondanza di scorta in quel periodo).

Indichiamo con F^* la *scorta di sicurezza* (*Safety Stock*), cioè una quantità di scorta che a titolo precauzionale conviene tenere in più, rispetto alla media, per evitare il rischio di sottoscora, con conseguenti danni (arresto della produzione o perdita del cliente).

La statistica insegna che se si tiene una scorta di sicurezza pari a $F^* = \sigma(S)$ vi è una probabilità ancora elevata di avere una rottura dello stock (32%); se le scorte di sicurezza sono pari a $[2 \sigma(S)]$ allora la probabilità si riduce drasticamente (5%); con scorte pari a $[3 \sigma(S)]$ vi è la quasi certezza di non avere rottura di stock in quanto la probabilità di rottura di stock è inferiore all'1%.

In altri termini, affermare che per una data materia prima si ha una probabilità di *non* avere rottura di stock, ad esempio, del 95% significa che, se durante il periodo di approvvigionamento si ricevono 100 richieste di materie dalla produzione, 95 di esse saranno in quantità inferiore a quella per la quale si verificherebbe l'azzeramento anticipato del magazzino, con rottura di stock. Reciprocamente, 5 ordini potrebbero essere ricevuti in quantità tale da verificarsi una situazione di fuori stock.

Pertanto scorta di sicurezza (SS) è pari a:

$$SS = k \sigma(S)$$

Il fattore k viene *definito fattore di sicurezza* ed è deciso a livello di politica di magazzino.

Di conseguenza, il *punto di riordino* risulta pari a:

$$\text{livello di riordino} = S + k \sigma(S) \quad [20]$$

Per decidere a quale livello di k fissare il fattore di sicurezza si osserva che quanto più k è elevato tanto più aumentano i costi di stoccaggio della scorta di sicurezza e tanto più si riducono i costi connessi alla rottura dello stock. In termini teorici, dunque, k si dovrebbe fissare al valore che rende il costo di stoccaggio (svantaggio di una scorta di sicurezza troppo alta) uguale al costo di rottura dello stock (svantaggio per una scorta di sicurezza troppo bassa). Nella pratica, per potere effettuare i calcoli delle probabilità di $S(n)$ occorre attuare una rilevazione accurata dei consumi durante il periodo di riordino per un sufficiente numero di intervalli e calcolare le *frequenze* dei vari volumi di prelevamento. Le frequenze dei prelevamenti possono essere adottate quali *approssimazioni delle probabilità*. I calcoli della scorta di sicurezza possono es-

sere attuati molto più facilmente sostituendo alla scarto quadratico medio il MAD (*mean absolute deviation*) che evita i calcoli dei quadrati e delle radici quadrate.

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |S(n) - S| \quad [21]$$

L'attendibilità statistica non viene compromessa dall'utilizzo del MAD ed è sempre possibile ricondursi da un procedimento all'altro in base alla relazione che lega le due grandezze potendosi ritenere, con buona approssimazione, con errori distribuiti secondo la normale, che lo scarto quadratico medio è uguale a 1,25 MAD.

14 - Controllo delle scorte di una materia. Un esempio numerico

Tab. 7 – Il fabbisogno di prelievo come variabile casuale

n	S(n)	scarto	n	S(n)	scarto	n	S(n)	scarto
1	70	3	19	71	2	37	63	10
2	65	8	20	74	1	38	100	27
3	60	13	21	67	6	39	97	24
4	64	9	22	70	3	40	93	20
5	53	20	23	62	11	41	63	10
6	70	3	24	79	6	42	*101	28
7	58	15	25	76	3	43	72	1
8	59	14	26	64	9	44	81	8
9	65	8	27	82	9	45	96	23
10	68	5	28	79	6	46	56	17
11	70	3	29	61	12	47	91	18
12	80	7	30	55	18	48	88	15
13	74	1	31	84	11	49	63	10
14	63	10	32	92	19	50	90	17
15	62	11	33	96	23	51	70	3
16	60	13	34	85	12	52	99	26
17	81	8	35	61	12		tot	tot
18	65	8	36	52	21		3.820	600

Un'impresa ha stimato in 3.820 unità il fabbisogno di una data materia in un dato anno.

La Tab. 7 espone la rilevazione dei fabbisogni $S(n)$ per settimana (n) di quella materia; sono calcolati altresì gli scarti assoluti rispetto alla media.

Dalla contabilità analitica vengono determinati i seguenti costi di approvvigionamento unitari (ca):

- 1) Costo personale addetto: €6
- 2) Movimentazione e trasporto: €4
- 3) Telefoniche, stampati e postali: €3

4) Costi amministrativi e informatici: € 3

Totale: € 16

Il costo di stoccaggio unitario (cs) si quantifica, invece, in € 3, corrispondente alla percentuale del 30% del costo di acquisto che è pari a € 10.

Per il calcolo del lotto ottimale d'acquisto si procede applicando la [12] con i dati della [tabella 7](#); si ottiene:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \text{ ca } Q}{\text{cs } T}} = \sqrt{\frac{2 * 16 * 3.820}{3 * 1}} = 201,86 \approx 202 \quad [22]$$

Il numero dei riordini (n) e la durata media di scorta (t) si determinano con la [15] e con la [16], rispettivamente:

$$n = \frac{Q}{EOQ} = \frac{3.820}{202} \approx 19 \text{ pezzi};$$

$$t = \frac{T}{n} = \frac{360}{19} = 19 \text{ giorni}.$$

Il costo di ogni approvvigionamento ammonta a : € 10 x 202 = € 2.020.

Una importante osservazione: il costo di stoccaggio si riferisce ad una unità in stock senza fare riferimento al periodo T di stoccaggio; se il costo di stoccaggio unitario fosse stato pari per esempio a 2 Euro per unità per giorno, allora il costo di stoccaggio "cs" sarebbe stato (2 x t) e si sarebbe dovuta applicare la [12]. È facile dimostrare che se, a parità di domanda, crescono il costo di ordinazione e quello di mantenimento - per effetto, per esempio, della lievitazione del costo del personale, dei trasporti, di acquisto o produzione, giacenza del bene ecc. - si ha una diminuzione di EOQ. Infatti, ponendo che, a un successivo calcolo, si quantificasse il costo di ordinazione in € 16,5 e quello di acquisto in € 11, si otterrebbe un EOQ = 195 unità.

Di conseguenza, varierebbero anche gli altri risultati: il numero dei riordini aumenterebbe, i giorni di scorta fletterebbero, mentre il costo di ogni approvvigionamento e il costo di gestione delle scorte si ridurrebbero. Procediamo ora al calcolo della *scorta di sicurezza* che dia una probabilità inferiore al 5% di andare in sottoscorta supponendo che il lead time sia di una settimana, salvo rettificare tale valore quando si conoscerà il periodo di riordino.

Per avere una scorta di sicurezza adeguata alla probabilità voluta, il fattore *k applicato al MAD* è uguale a 2. Occorre procedere al calcolo del prelievo medio settimanale S(n) e alla specificazione del MAD. Con i dati dei consumi settimanali della [Tab. 7](#) calcoliamo la media aritmetica:

$$S = \frac{3.820}{52} \approx 73.$$

La media sulle variazioni assolute si determina come segue:

$$MAD = \frac{600}{52} = 11,54.$$

Possiamo ora procedere al calcolo del punto d'ordine. Occorre, tuttavia, conoscere l'effettivo periodo di riordino. Da accurate rilevazioni risulta che il periodo di riordino è di circa 2 settimane.

La domanda media in due settimane è pari al doppio della domanda media settimanale, per cui il punto d'ordine è pari a:

$$\text{punto d'ordine} = 2 S + SS = 2 S + 2 MAD = 146 + 23 = 169.$$

Tale dato va interpretato nel senso che il responsabile del magazzino lancerà un nuovo ordine di 202 unità (EOQ) quando la scorta scenderà a 169 unità. Ciò gli assicura un livello di servizio presumibilmente vicino al 95% in base all'andamento dei fabbisogni del magazzino. La scorta massima arriverà al livello di:

$$EOQ + SS = 202 + 23 = 225 \text{ unità di materie}.$$

15 - Calcolo del lotto di approvvigionamento in ipotesi di prezzo che varia proporzionalmente

Finora abbiamo assunto l'ipotesi che il prezzo unitario fosse costante, pari a p, indipendentemente dalla quantità ordinata "q", così che nei calcoli si era potuto non tenerne conto. Come è noto, molto spesso i fornitori sono disposti a praticare prezzi differenti a seconda del volume degli acquisti effettuati. Due sono le forme di sconto possibili:

a) sconti concessi in funzione del quantitativo complessivamente acquistato dall'impresa in un certo intervallo di tempo, prescindendo dal modo con cui la quantità complessiva viene suddivisa in singole ordinazioni;

b) sconti applicati sulla base del quantitativo di volta in volta ordinato.

Il primo tipo di sconto non influenza direttamente la formazione delle scorte dell'impresa acquirente in quanto il prezzo rimane fisso fino al raggiungimento del volume minimo, superato il quale lo sconto matura.

Consideriamo, quindi, lo *sconto applicato per ogni lotto acquistato* ponendo l'ipotesi semplificatrice che il prezzo unitario decresca in modo continuo secondo un fattore proporzionale alla entità dell'ordine.

Per il calcolo dell'EOQ si tratta di minimizzare una funzione comprendente, oltre che i costi di ordinazione e di conservazione, considerati nei precedenti modelli, anche i costi di acquisto, introducendo esplicitamente il *prezzo* nel modello.

Utilizziamo la seguente simbologia:

- Q è l'entità del fabbisogno per il periodo T ,
- $q = \text{EOQ}$ indica l'entità del lotto economico di ordinazione,
- T rappresenta il periodo lungo il quale si estende il controllo, relativo al fabbisogno Q ,
- ca è costo di approvvigionamento, fisso per ogni lotto,
- cs indica il costo di stoccaggio di una unità a scorta per unità di tempo e, come al solito, si applica sulla scorta media pari a $q/2$,
- $(p-aq)$ rappresenta il prezzo d'acquisto, supposto decrescente, composto da due elementi: una parte costante "p", e una parte variabile secondo l'entità dell'ordine in ragione di un fattore "-a".

La funzione del costo totale da minimizzare sarà quindi analoga alla [11], con la variante di includere anche il valore d'acquisto del lotto (CL):

$$CT = CA + CS + CL = ca \frac{Q}{q} + cs \frac{q}{2} * T + (p - aq) C \quad [23]$$

Con immediati passaggi, supposto positivo il denominatore³, si trova la formula risolutiva:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2caQ}{csT - 2aQ}} \quad [24]$$

³ Come al solito, calcoliamo la derivata prima di CT e annulliamola; calcoliamo poi il valore di q dall'equazione risultante, avendo riguardo di scegliere i valori $q > 0$:

$$CT' = -caQ \frac{1}{q^2} + \frac{1}{2}cs * T - aQ, \text{ da cui:}$$

$$q^2 = \frac{2caQ}{csT - 2aQ}.$$

Il problema ammette soluzioni reali se: $csT - 2aQ > 0$; cioè se: $a < \frac{csT}{2Q}$.

Tale condizione ha un evidente significato: se il fattore di sconto, a , risulta troppo elevato, l'impresa ha sempre la convenienza a spingere gli approvvigionamenti fino a coprire l'intero fabbisogno, Q .

Supponiamo, a titolo di esempio, che l'impresa DELTA abbia determinato in 10.000 unità il fabbisogno annuo di una data materia prima. I costi di approvvigionamento sono stimati in $ca = 200$ Euro per lotto; quelli di conservazione sono pari a $cs = 20$ Euro per giorno e per unità. Il prezzo di acquisto è di 250 Euro con uno sconto di quantità continuo, pari a 0,01 Euro per ogni unità acquistata.

Applicando la [23], la funzione di costo totale risulta:

$$CT = CA + CS + CL = \left[200 \frac{10.000}{q} \right] + \left[20 \frac{q}{2} * 360 \right] + [(250 - 0,01q) 10.000]$$

Tramite la [24], otteniamo:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2 * 200 * 10.000}{(20 * 360) - (2 * 0,01 * 10.000)}} \approx 572$$

Il numero di ordinazioni è pari a: $n = (10.000/572) = 17,5$ circa.

La durata media di un lotto risulta: $t = (360/17,5) = 20,5$ giorni circa.

16 - Calcolo dell'EOQ in ipotesi di acquisto con prezzo variabile "a salti"

Se accogliamo l'ipotesi, più realistica, di una riduzione del prezzo sull'intero lotto quando l'entità dell'ordine supera un certo minimo, il calcolo dell'EOQ diventa più complesso.

Supponiamo, allora, che:

- se la quantità acquistata fosse inferiore a un livello "b", il prezzo unitario di acquisto sarebbe p_1 ;
- se la quantità acquistata fosse uguale oppure superiore a "b", tale prezzo diventerebbe $p_2 < p_1$ (il ragionamento si può estendere al caso di un numero maggiore di discontinuità nei livelli di prezzo).

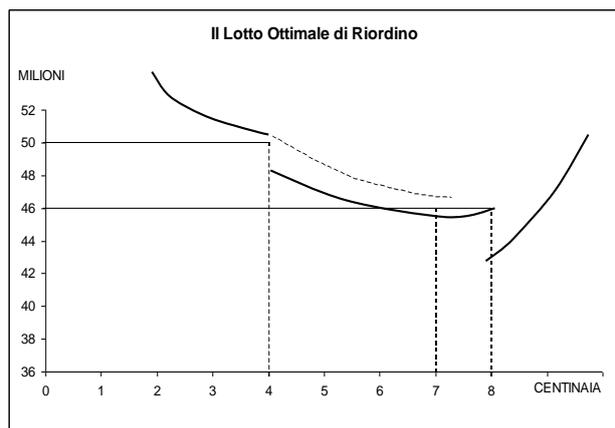
Il problema, in questo caso, consiste nel decidere se risulti più conveniente acquistare la quantità ottimale al prezzo p_1 , oppure aumentare il volume dell'ordine fino alla dimensione minima "b" per poter usufruire del prezzo unitario inferiore.

Prima di procedere alla soluzione del problema, osserviamo che, nelle ipotesi poste, la funzione del costo totale da minimizzare presenta un *punto di discontinuità* in corrispondenza della quantità "b".

Questa discontinuità si connette al fatto che lo sconto sugli acquisti produce rilevanti effetti collegati:

- a) riduce il prezzo unitario di acquisto,
- b) riduce i costi di detenzione delle scorte,
- c) mantiene invariato il livello dei costi di acquisizione.

Fig. 8 – I costi di magazzino con prezzo variabile “a salti”



Graficamente la situazione può essere rappresentata come indicato in Fig. 8. In presenza di discontinuità dobbiamo analizzare separatamente i rami continui della curva del costo totale ed attuare il confronto tra i risultati di costo ottenuti per ciascun ramo in corrispondenza del punto di discontinuità.

La procedura può essere così sintetizzata:

1. si determina l'EOQ nell'ipotesi che il prezzo di acquisto non influisca sulla quantità ottimale;
2. si individua il ramo della curva del costo totale nel quale giace EOQ;
3. si calcolano i valori di CT sia per l'EOQ sia per "b";
4. si effettua la scelta sulla base di tali valori; il livello da ordinare corrisponde alla quantità per la quale si individua il costo minimo.

A titolo di esempio, si supponga che l'impresa OMEGA impieghi mediamente 250 unità al giorno di una data materia prima.

Per l'approvvigionamento e lo stoccaggio si rilevano i seguenti dati di prezzo e costo e relative grandezze derivate (valori in Euro):

a) prezzo di acquisto:

- $p_1 = 4$ per ordini $q < b_1 = 400$;
- $p_2 = 3,6$ (sconto 10%) per ordini compresi tra $q = b_1$ e $q < b_2 = 800$;
- $p_3 = 3,4$ (sconto 15%) per ordini di $q > b_2$;

b) costo per approvvigionamento: 500;

c) costo di conservazione e stoccaggio: 0,5 al giorno per unità di q mediamente in scorta;

d) essendo $T = 360$ gg., il fabbisogno Q è pari a $90.000 = (250 \times 360)$, unità;

e) indicando con q la dimensione di un lotto, il numero dei lotti sarà: $90.000/q$;

f) il costo di approvvigionamento, per T risulta quindi:

$$CA = \frac{90.000}{q} * 500$$

g) il costo di conservazione relativo a T ammonterà a:

$$CS = 0,5 \frac{q}{2} * 360$$

h) il costo di acquisto dipende dalla quantità acquistata complessivamente in T ; lo lasciamo indicato con $(p_h * Q)$, con $h = 1, 2, 3$.

Possiamo allora costruire la funzione dei costi totali:

$$CT = CA + CS = \left[\frac{90.000}{q} * 500 \right] + \left[0,5 \frac{q}{2} * 360 \right] + (p_h * Q)$$

Tramite la [12] determiniamo il lotto di acquisto teorico.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * 500 * 90.000}{0,5 * 360}} \approx 707 \text{ unità.}$$

Si osserva che l'addendo $(p_h * Q)$, cioè il costo di acquisto della merce - quindi il prezzo - non influisce sulla derivata prima di CT ; pertanto CT ammette un minimo al livello di $q = 707$ unità (arrotondata).

Se però disegniamo il grafico delle tre funzioni CT , che si ottengono specificando il prezzo p_h , immediatamente verificiamo che CT ammette due punti di discontinuità in corrispondenza delle quantità $b_1 = 400$ unità e $b_2 = 800$ unità.

Occorre allora calcolare il valore assunto dalla funzione nei punti di discontinuità, impiegando le tre funzioni di costo seguenti che derivano dalla generale dopo avere specificato il livello di p_h :

per $q < 400$ unità;

$$CT = \left[\frac{90.000}{q} * 500 \right] + \left[0,5 \frac{q}{2} * 360 \right] + (4 * 90.000)$$

per $400 \leq q < 800$;

$$CT = \left[\frac{90.000}{q} * 500 \right] + \left[0,5 \frac{q}{2} * 360 \right] + (3,6 * 90.000)$$

per $q > 800$;

$$CT = \left[\frac{90.000}{q} * 500 \right] + \left[0,5 \frac{q}{2} * 360 \right] + (3,4 * 90.000)$$

Impiegando le tre funzioni precedenti, specificando i prezzi per ciascuna, otteniamo i seguenti risultati:

per $q = 400$, risulta $CT = 508.500$

per $q = 401$, risulta $CT = 472.309$

per $q = 800$, risulta $CT = 452.250$

per $q = 801$, risulta $CT = 434.269$

per $q = 707$, risulta $CT = 451.279$.

Poiché il prezzo p_h non incide sul minimo delle funzioni di costo, risulta che EOQ è il minimo di tutte e tre le funzioni; pertanto la curva del costo totale:

a) è decrescente nel tratto rappresentato dalla prima funzione;

b) presenta un minimo relativo in corrispondenza di EOQ nel tratto rappresentato dalla seconda funzione, essendo decrescente per $q < 707$ e crescente per $q > 707$;

c) è crescente nel tratto rappresentato dalla terza funzione.

Poiché osserviamo che il valore iniziale (434.269) del tratto rappresentato dalla terza funzione – corrispondente a $q = 800$ – risulta minore del valore minimo (451.279) del tratto rappresentato dalla seconda funzione, per $q = 707$, siamo allora certi che la *quantità ottima di approvvigionamento* non corrisponde a $q = 707$ ma a $q = 800$, che rappresenta l'EOQ.

17 - Il calcolo del lotto ottimale di produzione

La formula di Wilson può essere utilizzata anche per il calcolo del *lotto ottimale da produrre*, denominato anche EPQ, da *economic production quantity* (Arsham, 2006); è necessario, in questo caso, conoscere, per unità di prodotto finito da tenere in scorta, oltre che i *costi di approvvigionamento*, considerati fissi, anche i *costi unitari medi* di produzione.

Indichiamo con:

- Q , il fabbisogno totale annuo di produzione come indicato, per esempio, nel budget della produzione;

- cp , il costo industriale unitario medio di produzione – al netto dei costi di approvvigionamento – che si suppone fisso per ogni quantità prodotta (può essere sia un *direct cost* che un *full cost*; varierà, naturalmente, il significato dei risultati conseguiti);

- CP , il costo di produzione dei lotti nel periodo T ;

- $q = EOQ$, l'entità *incognita* del lotto di produzione;

- ca , il costo di approvvigionamento di un lotto; è il costo per attuare un rifornimento del magazzino prodotti; si suppone che tale costo sia fisso, qualunque sia l'entità del lotto; potrebbero rientrare in ca , per esempio, i costi di attrezzaggio dei macchinari o di movimentazione del lotto nel magazzino;

- CA , il costo di approvvigionamento di tutti i lotti dell'anno;

- cs , i costi di stoccaggio unitari, calcolati sul *valore medio di un lotto* (per esempio il 3% del costo di produzione cm);

- CS , il costo di stoccaggio di tutto l'anno;

- $q/2$, la scorta media (entità iniziale pari a “ q ” ed entità finale nulla);

- t , l'intervallo durante il quale si esaurisce “ q ”; al termine di t occorre lanciare un nuovo ordine perché “ q ” si è esaurito;

- $n = Q/q$, il numero dei lotti richiesti nell'anno;

- CQ , il costo complessivo di produzione, comprendente sia i costi di produzione industriale sia i costi di approvvigionamento che di stoccaggio.

Possiamo allora immediatamente calcolare:

a) il *costo di produzione di un lotto*: $cp * q$;

b) il costo di produzione degli “ n ” lotti:

$$CP = cp * q * n ;$$

c) il *costo di approvvigionamento* per gli “ n ” lotti:

$$CA = ca * n;$$

d) il *costo di stoccaggio di un lotto* è commisurato al suo valore, vale a dire al costo di produzione (cui eventualmente si può sommare anche ca) è proporzionale al costo unitario, “ cs ”, per valore unitario, “ cm ”, per durata di un lotto “ t ”:

$$\text{costo di stoccaggio di un lotto} = cs * cp * t * \frac{q}{2}$$

e) il *costo totale di stoccaggio* degli “ n ” lotti risulta:

$$CS = \left(cs * cp * t * \frac{q}{2} \right) * n$$

f) il *costo totale di produzione* e di stoccaggio degli n lotti risulta:

$$CQ = CP + CA + CS =$$

$$CQ = (cp * q * n) + (ca * n) + \left(cs * cp * t * \frac{q}{2} \right) * n \quad [25]$$

Ricordando che $(q * n) = Q$ e che: $(t * n) = T$ e

anche che: $n = \frac{Q}{q}$, la [25] diventa:

$$CQ = (cp * Q) + \left(ca * \frac{Q}{q} \right) + \left(cs * cp * \frac{q}{2} * T \right) \quad [26]$$

Dobbiamo ora calcolare la quantità del lotto “ q ” che renda minima la precedente funzione del costo totale: CT .

Con semplici passaggi⁴, otteniamo il valore di EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2caQ}{cp\ cs\ T}} = \sqrt{\frac{2ca}{cp\ cs\ T}} \sqrt{Q} \quad [27]$$

Supponendo di considerare l'anno commerciale e ponendo pertanto $T = 360/360 = 1$, allora la [27] diventa:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2ca}{cp\ cs}} \sqrt{Q} = K \sqrt{Q} \quad [28]$$

avendo indicato con K la costante calcolata con i valori noti dei costi unitari.

Si può notare la stretta analogia tra i risultati raggiunti e la [13] relativa al calcolo del lotto ottimale di approvvigionamento.

Per il calcolo del *lotto ottimale di produzione* occorre tenere conto anche del costo di produzione e si osserva che l'entità del lotto *decrece* quanto più *aumenta* il costo di produzione unitario medio, "cp".

Importante osservazione: la precedente formula [27] può essere impiegata anche per il calcolo del lotto economico di *approvvigionamento* da fornitori esterni all'impresa quando sia necessario fare entrare nei calcoli anche il prezzo di acquisto. È sufficiente, in questo caso, ripetere il ragionamento sostituendo al costo unitario "cp" il prezzo unitario "p".

Si ottiene la formula seguente che amplia la [13].

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * ca * Q}{p * cs}} \quad [29]$$

18 - Il lotto economico per produzioni discontinue. Il metodo "LB-LA"

Il calcolo del lotto ottimale di approvvigionamento con la formula di Wilson si fonda sull'assunto di un fabbisogno *costante*, Q, di materie o di prodotti, e di un loro impiego *regolare* nel tempo; con tale ipotesi, il

⁴ Deriviamo CT rispetto a "q" e calcoliamo il valore di "q" che rende nulla la derivata prima:

$$CQ' = \left[-ca Q \frac{1}{q^2} + \frac{1}{2} cs * cp * T \right], \text{ da cui:}$$

$$q^2 = \frac{2ca}{cp\ cs\ T} * Q, \text{ essendo } (cp\ cs\ T) > 0.$$

Essendo ammissibili solo valori $q > 0$, e rilevando la derivata seconda di CQ, rispetto a q, è sempre positiva, l'EOQ rappresenta un valore di minimo.

fabbisogno di ogni sottoperiodo costituisca una frazione proporzionale del fabbisogno totale.

Vi sono dei casi in cui i processi di acquisto o di vendita richiedono fabbisogni non uniformemente distribuiti, così che, per esempio, il fabbisogno di gennaio è alquanto diverso da quello di febbraio e questo a sua volta diverge da quello di marzo ecc.

In tale eventualità il modello di Wilson diventa difficilmente applicabile così che occorre ricercare altre procedure per il calcolo dell'EOQ.

Supponiamo di potere dividere il periodo T in N sottoperiodi di uguale ampiezza, t_n e di conoscere i *fabbisogni* q_n per ogni t_n , $n = 1, 2, \dots, N$.

Mentre i vari t_n sono tra loro uguali le q_n possono essere tra loro differenti.

Se supponiamo che le quantità di ogni sottoperiodo non siano frazionabili, allora gli approvvigionamenti dovranno coprire necessariamente i fabbisogni di un dato sottoperiodo; di conseguenza, la quantità ottimale $q = EOQ$ sarà pari alla somma di un dato numero j di fabbisogni periodici:

$$EOQ(j) = q = \sum_{n=1}^j q_n$$

La soluzione può essere individuata impiegando tecniche di *programmazione dinamica*; una tra le più semplici è il cosiddetto *metodo del bilanciamento* la cui logica consiste nel "bilanciare", passo passo, il *costo di ordinazione* ed il *costo di mantenimento*.

Più in dettaglio, il metodo prevede di calcolare il *costo complessivo di stoccaggio* per lotti sempre più ampi che comprendono i fabbisogni cumulati. Il costo complessivo di stoccaggio ovviamente cresce con l'aumentare del numero dei fabbisogni inclusi nel calcolo. *Si ha convenienza a lanciare un ordine quando il costo di stoccaggio diventa superiore al costo di approvvigionamento.*

Tale condizione si può scrivere come segue:

$$CS(j) = cs \left[\sum_{n=1}^j (n-1) q_n \right] > ca \quad [30]$$

- q_n indica il fabbisogno del periodo t_n ;

- ca è il *costo di approvvigionamento*, supposto costante per lotto;

- cs indica il *costo di stoccaggio*, supposto unitariamente fisso e proporzionale alla quantità approvvigionata (non alla giacenza media) e al numero di periodi di giacenza;

- j esprime il numero di periodi che devono essere coperti dall'ordine;

- CS(j) è il *costo totale di stoccaggio* per i fabbisogni indicati entro parentesi quadra della [30]; esso risulta pari alla somma dei costi di stoccaggio dei vari fabbisogni per il numero di periodi che vanno da quel-

lo a cui si riferisce il fabbisogno a quello in cui si effettua l'ordine (precedente).

Come si può notare, nella [30], ai fini del calcolo del costo di stoccaggio, viene ignorato il primo fabbisogno del periodo di riferimento (coefficiente: $n-1$); ciò equivale a supporre che siano ininfluenti i costi di stoccaggio del fabbisogno di tale periodo.

È possibile anche abbandonare questa ipotesi così come è possibile dimensionare i costi di conservazione al lotto medio.

Quando la [30] appare verificata, si pone:

$$EOQ(j) = \sum_{n=1}^j q_n \quad [31]$$

Una volta individuato il primo lotto da ordinare si applica di nuovo la [30] ponendo $n = j$ e partendo dal periodo $j + 1$. Nella [30], entro le quadre, si sostituisce $(n-1)$ con $(n-j)$.

Si reitera il procedimento fino a quando non si arriva alla copertura dell'intero fabbisogno degli N periodi.

Proprio perché il *metodo del bilanciamento* impone una comparazione dinamica tra costi di *approvvigionamento* e costi di *conservazione*, la soluzione trovata è senz'altro migliore di quella che si sarebbe potuta realizzare con acquisti attuati di periodo in periodo, oppure cumulando un qualsivoglia numero di fabbisogni periodici.

Per migliorare ulteriormente i risultati, si può però impiegare un altro metodo denominato "LOOK BACK-LOOK AHEAD" (sguardo indietro-sguardo avanti) che indicheremo con LB-LA. Tale metodo si basa sia sul consumo precedente (LB) che sui bisogni futuri (LA) (De Toni et al., 1987).

Il metodo presuppone che siano stati già determinati gli EOQ con il metodo del bilanciamento e si propone di ricercare *la più corretta data di emissione dell'ordine successivo* in modo da evitare l'errore di posizionare degli ordini in periodi con fabbisogni limitati.

Per applicare il metodo si considera dapprima la disuguaglianza:

$$q_n(n-1) \leq q_{n+1} \Rightarrow \text{SGUARDO AVANTI} \quad [32]$$

dove con q_n è stato indicato il fabbisogno del periodo n -esimo in cui il costo di mantenimento ha superato quello di ordinazione, così come determinato con il metodo del bilanciamento.

Il confronto viene fatto per valori crescenti di "n" fino a quando la disuguaglianza non risulta verificata.

Le quantità di q_n per la quale l'espressione è verificata vengono spostate nel lotto precedente e l'emissione del lotto successivo viene effettuata nel periodo $(n + 1)$.

Tale conclusione si giustifica considerando che appare maggiormente conveniente tenere in stoccaggio a magazzino la quantità q_n per $(n - 1)$ periodi piuttosto che la quantità q_{n+1} per un solo periodo.

Si può tuttavia incorrere nell'opposto pericolo di quantificare lotti di dimensione troppo elevata; per evitarlo, occorre verificare preventivamente la disuguaglianza:

$$q_n(n-1) < \frac{ca}{cs}$$

Se la disuguaglianza:

$$q_n(n-1) \leq q_{n+1} \Rightarrow \text{SGUARDO AVANTI} \quad [33]$$

non risulta verificata già per il primo valore di n , viene eseguita anche la funzione "sguardo indietro" che esamina la disuguaglianza:

$$2 q_n \leq q_{n-1} \Rightarrow \text{SGUARDO INDIETRO} \quad [34]$$

Se l'espressione è verificata, il lotto successivo viene anticipato nel periodo $(n-1)$. L'esempio numerico che segue consentirà di percepire i dettagli applicativi dei metodi descritti.

19 - Il metodo "LB-LA". Un esempio numerico

L'impresa ZETA, produttrice di grandi commesse, ha fabbisogni di componenti la cui dinamica è strettamente connessa ai processi produttivi programmati e risulta quindi facilmente prevedibile.

I fabbisogni mensili, per il prossimo anno, sono quantificati come indicato nel prospetto che segue:

I costi di *approvvigionamento* sono pari a: $ca = 100$; i costi di *stoccaggio* per unità di prodotto in scorta sono pari a: $cs = 1$.

Applicando la [30] determiniamo i costi di stoccaggio per lotti sempre più ampi, con esclusione del primo della serie.

Per $j = 2$ si ha:

$$CS(2) = 1 [(0 * 50) + ((2 - 1) * 15)] = 15 < ca = 100.$$

Per $j = 3$:

$$CS(3) = 1 [(0 * 50) + ((2 - 1) * 15) + ((3 - 1) * 25)] = 65 < ca = 100.$$

Per $j = 4$:

$$CS(4) = 1 [(0 * 50) + ((2 - 1) * 15) + ((3 - 1) * 25) + ((4 - 1) * 10)] = 95 < ca = 100.$$

Per $j = 5$:

$$CS(5) = 1 [(0 * 50) + ((2 - 1) * 15) + ((3 - 1) * 25) + ((4 - 1) * 10) + ((5 - 1) * 10)] = 135 > ca.$$

Osserviamo che cumulando in un unico approvvigionamento i fabbisogni dei primi 5 mesi il costo dello stoccaggio arriva a superare quello di approvvigionamento.

Osservando la tabella dei fabbisogni si deduce che conviene, pertanto, attuare il lancio dell'ordine di un lotto di 100 unità in grado di soddisfare il fabbisogno dei primi 4 periodi.

Dalla [31] si ottiene, infatti:

$$EOQ(4) = 50 + 15 + 25 + 10 = 100.$$

Si reitera allora il metodo ponendo $n = 5$, cioè considerando quale primo tentativo il fabbisogno del periodo 5. È sufficiente allora modificare la [30] come segue:

$$CS(j) = cs \left[\sum_{n=5}^j (n-5) q_n \right] > ca \quad [35]$$

Applichiamo ora la [35] per successivi valori di "j".

Per $j = 6$:

$$CS(6) = 1 [(0 * 10) + ((6 - 5) * 70)] = 70 < ca = 100.$$

Per $j = 7$:

$$CS(7) = 1 [(0 * 10) + ((6 - 5) * 70) + ((7 - 5) * 25)] = 120 > ca = 100.$$

Il secondo ordine comprenderà i fabbisogni del periodo 5 e 6 e la quantità sarà pertanto:

$$EOQ(6) = 10 + 70 = 80 \text{ unità.}$$

Ora poniamo $n = 7$ e modifichiamo la [35] per tenerne conto; otteniamo:

$$CS(j) = cs \left[\sum_{n=7}^j (n-7) q_n \right] > ca \quad [36]$$

Continuando le iterazioni calcoliamo, con la [36] i nuovi valori.

periodi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
fabbisogni	50	15	25	10	10	70	25	15	0	40	10	20

Per $j = 8$:

$$CS(8) = 1 [(0 * 25) + ((8 - 7) * 15)] = 15 < ca = 100.$$

Per $j = 10$ (per $j = 9$ il fabbisogno è nullo e si otterrebbe lo stesso risultato precedente):

$$CS(10) = 1 [(0 * 25) + ((8 - 7) * 15) + ((10 - 7) * 40)] = 135 > ca.$$

Il terzo ordine posizionato nel periodo 7 sarà di:

$$EOQ(7) = 25 + 14 = 40 \text{ unità.}$$

Per $j = 11$, dopo avere opportunamente modificato la [36], otteniamo:

$$CS(11) = 1 [(0 * 40) + ((11 - 10) * 10)] = 10 < ca = 100.$$

Per $j = 12$, infine:

$$CS(12) = 1 [(0 * 40) + ((11 - 10) * 10) + ((12 - 10) * 20)] = 50 < ca.$$

Il quarto ordine viene lanciato nel periodo 10 e sarà di:

$$EOQ(4) = 40 + 10 + 20 = 70 \text{ pezzi.}$$

La distribuzione finale degli ordini sarà quindi la seguente:

periodi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
fabbisogni	50	15	25	10	10	70	25	15	0	40	10	20
Ordini ad inizio periodo	100				80		40		70			

Attuando il lancio di ordini pari ai lotti precedentemente calcolati, otterremo i seguenti risultati:

- costo complessivo di approvvigionamento per 4 lotti:
 $CA = 100 * 4 = 400$;

- costo complessivo di stoccaggio per i 4 lotti, calcolati con le formule $CS(j)$:

$$CS = 95 + 70 + 15 + 50 = 230$$

- costo totale:

$$CT = CA + CS = 400 + 230 = 630.$$

A questa soluzione applichiamo ora il metodo LB-LA. Osserviamo subito che il secondo ordine risulta posizionato nel periodo 5.

Consideriamo l'espressione [32] dello SGUARDO AVANTI:

$$q_5 * (n - 1) = 10 * (5 - 1) = 40 < q_6 = 70.$$

Poiché la disuguaglianza è verificata, dobbiamo considerare anche l'espressione [33]:

$$(n - 1) * q_5 < ca/cs \text{ da cui: } 40 < 100.$$

Il secondo lotto viene quindi spostato nel periodo 6 e la quantità del primo diviene di 110 pezzi:

periodi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
fabbisogni	50	15	25	10	10	70	25	15	0	40	10	20
Ordini ad inizio periodo	110					?						

Ripetiamo l'analisi ponendo $n = 6$:

$$(n - 1) * q_6 = 5 * 70 = 350 > q_7 = 25.$$

Poiché lo SGUARDO AVANTI non verifica la disuguaglianza, il secondo lotto rimane posizionato nel periodo 6.

A questo punto per determinare la quantità del secondo ordine si deve applicare nuovamente la tecnica del bilanciamento ponendo $n = 6$ e $j = 7$.

Per $j = 7$:

$$CS(7) = 1 [(70 * 0) + (25 * (7 - 6))] = 25 < ca = 100.$$

Per $j = 8$:

$$CS(8) = 1 [(70 * 0) + (25 * (7 - 6)) + (15 * (8 - 6))] = 55 < ca = 100.$$

Per $j = 10$:

$$CS(10) = 1 [(70 * 0) + (25 * (7 - 6)) + (15 * (8 - 6)) + (40 * (10 - 6))] = 215 > 100.$$

Il secondo lotto sarà di 110 pezzi e comprenderà i fabbisogni dei periodi 6, 7, 8 e 9.

Il terzo sarà posizionato nel periodo 10.

periodi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
fabbisogni	50	15	25	10	10	70	25	15	0	40	10	20
Ordini ad inizio periodo	110					110				?		

Verifichiamo la posizione del terzo lotto applicando la [32] dello SGUARDO AVANTI:

$$q_{10} * (n - 1) = 40 * 9 = 360 < q_{11} = 10.$$

La condizione non è verificata. Operiamo ora lo SGUARDO INDIETRO, applicando la [34]:

$$2 * q_{10} * = 2 * 40 = 80 \leq q_9 = 0$$

La condizione non è verificata. Il lotto di 70 unità sarà acquistato all'inizio del periodo 10.

La distribuzione finale degli ordini sarà, pertanto:

periodi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
fabbisogni	50	15	25	10	10	70	25	15	0	40	10	20
Ordini ad inizio periodo	110					110				70		

Il costo totale risultante sarà:

$$CT = CA + CS = (3 * 100) + 240 = 540.$$

Si nota che il costo totale è sensibilmente inferiore a quello ottenuto precedentemente, che ammontava a 630.

20 – Conclusioni

Al fine di poter ottimizzare le scorte presenti in magazzino, diversi aspetti di un particolare calcolo economico-tecnico (Mella, 1992) devono essere presi in considerazione, quali le quantità di approvvigionamento e i tempi di ordinazione.

Una buona gestione di tale fattori consentirebbe sia un innalzamento del ROI a parità di risultato operativo, che una riduzione del costo del capitale nel caso di finanziamento del magazzino da parte di capitale di prestito (Mella, Navaroni, 2012). Tenere sotto con-

trollo il magazzino significa ridurre al minimo il costo delle giacenze, mantenendo un equilibrio tra gli investimenti richiesti ed i rischi connessi alla mancanza di scorte.

La gestione delle scorte rappresenta il mezzo utile all'ottimizzazione del magazzino. Queste scorte, traducibili in stock di materie, in semilavorati e componenti o in prodotti finiti, rappresentano investimenti monetari. Tali investimenti generano ricavi attraverso una sintonia tra i ritmi di produzione e di vendita: livelli ottimali devono essere calcolati al fine di consentire l'ottenimento della produzione richiesta, senza che questa sia succeduta da un accumulo troppo elevate di scorte in magazzino (traducibili, successivamente, in costi).

Tale indipendenza ha come costrizione la politica degli impianti (Del Faver, 2010). È importante determinare, a tale proposito, la più efficace dimensione degli impianti, determinata dall'analisi sia della domanda corrente di beni, che di quella futura, considerando, oltre alla domanda, anche il periodo di utilizzo ed i costi di gestione e di rinnovo.

Tale determinazione collega immediatamente al problema fondamentale del controllo delle scorte: la determinazione del livello economico ottimale, fisiologicamente necessario, in grado di ridurre al minimo i costi di stoccaggio, pur mantenendo scorte in grado di far fronte ad una domanda futura (Fornaciari, Garlassi, 2012).

Tre fattori risultano decisivi nel definire il livello ottimale di scorta:

- Fabbisogno di materie o di prodotti durante il periodo di approvvigionamento;
- Lead time (l'intervallo intercorrente tra l'emissione di un ordine di acquisto (materie prime) o di produzione (prodotti finiti) ed il momento in cui è disponibile quanto ordinato);
- Il costo di approvvigionamento e di conservazione.

Assumendo che il fabbisogno di materie o di prodotti e il lead time siano noti, il fattore che più influisce sulla determinazione delle scorte risulta essere il costo.

Pertanto, in questo articolo i diversi metodi di valutazione dei costi sono stati presentati ed analizzati. In particolare, la formula di Wilson, alla base del Economic Order Quantity Model, è stata largamente esaminata. Tale modello è stato applicato per la determinazione del lotto economico, considerando sia i cambiamenti proporzionali del prezzo, che in ipotesi di acquisto con prezzo variabile "a salti".

Infine, un ulteriore miglioramento dei risultati può essere ottenuto tramite il metodo "LOOK BACK-LOOK AHEAD", il quale mira a determinare la più corretta data di emissione dell'ordine successivo (sguardo avanti), basata sul precedente calcolo del lotto economico (sguardo indietro).

Riferimenti bibliografici

- Amodeo D. (1987), *Le gestioni industriali produttrici di beni*, UTET, Torino.
- Arsham H. (2006), *Economic Order Quantity and Economic Production Quantity Models for Inventory Management*.
- Ballou Ronald H. (1967), *Improving the Physical Layout of Merchandise in Warehouses*. *Journal of Marketing*. 60-64.
- Browne Jim, Didier Dubois, Keith Rathmill, Suresh P. Sethi, Kathryn E. Stecke (1984), *Classification of Flexible Manufacturing System*. *The FMS Magazine*. 2(2), 114-117.
- Catufa, A., 2004. *Analisi ed implementazione di un sistema per la gestione delle scorte: il caso Magne-Tek SpA*.
- Chianini A. (2010), *Lean Organisation for Excellence*. Hoshin Kanri, Value Stream Accounting, Lean Metrics e Toyota Production System nel mondo manifatturiero e dei servizi: Hoshin Kanri, Value Stream Accounting, Lean Metrics e Toyota Production System nel mondo manifatturiero e dei servizi, Franco Angeli, Milano.
- Cheng T.C.E. (1991), *An economic order quantity model with demand-dependent unit production cost and imperfect production processes*. *IIE transactions*. 23(1). 23-28.
- Chu, P., Chung, K.-J., Lan, S.-P., 1998. *Economic order quantity of deteriorating items under permissible delay in payments*. *Computers & Operations Research* 25, 817-824.
- Clark, A. J. (1972). *An informal survey of multi-echelon inventory theory*. *Naval Research Logistics (NRL)*. 19(4), 621-650.
- De Bernardi P., Devalle A. (2014), *Sistemi di rilevazione e misurazione delle performance aziendali: Dalla redazione del bilancio di esercizio al controllo di gestione*, Giappichelli, Milano.
- De Toni A., Caputo M., Vinelli A. (1987), *Production Management Techniques: Push-Pull Classification and Application Conditions*. *Production Management Techniques*.
- De Witt G. (1995), *La gestione delle scorte: guida operativa per migliorare la produttività delle scorte e dei magazzini*. Franco Angeli, Milano.
- Del Favero M. (2010), *Il controllo di gestione nelle aziende di produzione in serie*, IPSOA, Milano.
- Di Cristofano G. (1990), *Il controllo delle scorte in azienda*. Gruppo Fabbri, Bompiani, Sonzogno, Etas S.p.a.
- Di Meo, E. (1985). *La logistica e gli acquisti*. Etas Libri.
- Eroglu, A., Ozdemir, G. (2007), *An economic order quantity model with defective items and shortages*. *International journal of production economics* 106, 544-549.
- Farné S. (2010), *Qualità operativa. Ottimizzare per competere e raggiungere l'eccellenza*. FrancoAngeli.
- Fornaciari L, Galassi D. (2012), *Strategie e controllo economico finanziario per il punto vendita*, IP-SOA, Milano.
- Francavilla F. (1988), *Esercizi ed applicazioni di Ricerca Operativa*, Clued, Pavia,. *Scorte e dei magazzini*, Franco Angeli, Milano.
- Gambel, E.L., 2005. *La statistica per la gestione d'impresa*. FrancoAngeli.
- Gattuso D. (2007), *Progetto Mataari. Logistica agro-alimentare nell'area del Mediterraneo*, Franco Angeli, Milano.
- Goswami, A., Chaudhuri, K.S., (1992). *An economic order quantity model for items with two levels of storage for a linear trend in demand*. *Journal of the Operational Research Society* 43, 157-167.
- Hall R, Castagna G., Tarizzo G., (1988), *Obiettivo scorte zero*, ISEDI, Milano.
- Imai M (2015), *Gemba Kaizen. Un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo. Con le storie delle aziende italiane che ce l'hanno fatta*, Franco Angeli, Milano.
- LeMonnier F. (1981), *Archimede*, Vol. 33-34.
- Luceri B. (1996), *La logistica integrata*. Giuffrè.
- Mariani G. (2007), *Politiche di capitale circolante e gestione economico-finanziaria d'impresa (Vol. 6)*. FrancoAngeli.
- Mella P. (1992), *Economia Aziendale*, Utet, Torino.
- Mella P. (1997), *Controllo di Gestione*, Utet, Torino.
- Mella P. (2004), *Il controllo della qualità*, Budget, 2004/39, IFAF, Milano: 67-91.
- Mella P., Navaroni M. (2012), *Analisi di bilancio*, Maggioli Editore.
- Mella P. (2014), *Teoria del controllo. Dal Systems Thinking ai Sistemi di Controllo*. pp.1-408. FrancoAngeli, Milano.
- Mentzer J.T. et al (2001), *Defining Supply Chain Management*, in: *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, 2001, pp. 1-25.
- Montrone A. (2005), *Il sistema delle analisi di bilancio per la valutazione dell'impresa (Vol. 111)*. FrancoAngeli.
- Nahmias S. (1982), *Perishable inventory theory: A review*. *Operations research*, 30(4), 680-708.
- Neal Forest L. (1962), *Controlling Warehouse Handling Costs by Means of Stock Location Audits*.

- Transportation and Distribution Management. 2, 31-33.
- Planning R. (2012a), Inventory planning, control and Management. Gestione delle scorte e del riasortimento dei prodotti.
- Planning R. (2012b), Scorte e magazzini sotto controllo. Strumenti e metodi per la gestione ottimale delle scorte.
- Porteus E. L. (1986), Optimal lot sizing, process quality improvement and setup cost reduction. *Operations research*, 34(1), 137-144.
- Potito L. (Ed.) (2014), *Economia aziendale: Seconda edizione rivista e ampliata*. G Giappichelli Editore.
- Raouf A., Ben-Daya M. (1995), *Flexible Manufacturing Systems: Recent Developments*, Elsevier.
- Santolini P. (2010), *Flow time e processi produttivi*, HOEPLI, Milano.
- Silver, E. A. (1981). Operations research in inventory management: A review and critique. *Operations Research*. 29(4), 628-645.
- Tinarelli, G. U. (1983). Inventory control: Models and problems. *European Journal of Operational Research*. 14(1), 1-12.
- Tinarelli G.U. (1992), *La gestione delle scorte nelle imprese commerciali e di produzione*, ETAS libri, Milano.
- Urgeletti G.T. (2001), *La gestione delle scorte nelle imprese commerciali e di produzione: EOQ, MRP, JIT*. Etas.
- Veinott Jr, A. F. (1966). The status of mathematical inventory theory. *Management Science*. 12(11), 745-777.
- Wagner, H. M. (1980). Research portfolio for inventory management and production planning systems. *Operations Research*. 28(3-part-i), 445-475.
- Waters C. D. (1992), *Inventory control and management*, Wiley, Chichester.
- Whitin, T. M. (1954). Inventory control research: A survey. *Management Science*. 1(1), 32-40.
- Wilson Hoyt G. (1977), Order Quantity, Product Popularity, and the Location of Stock in a Warehouse. *AIE Transactions*. 9(3), 230-237.
- Woolsey R. and Maurer R. (2005), *Inventory Control*, Lionheart Publishing, Inc., Marietta, USA
- Zermati P. (1985), *Gestione pratica delle scorte, Tecniche nuove*, Milano.