

Modello ROL & Safety Stock

Architettura matematica della Dashboard di monitoraggio degli approvvigionamenti basata sul criterio del *Reorder Point Level* (ROL), con formalizzazione rigorosa dei modelli stocastici per il dimensionamento della Scorta di Sicurezza.

SISTEMA

Dashboard ROL v1.0

DOMINIO

Supply Chain & Inventory Management

MODELLI

Deterministico · Statistico · Stocastico bivariato

INDICE DEI CONTENUTI

1. Introduzione e obiettivi del modello
2. Nomenclatura e definizioni
3. Formule fondamentali del sistema
4. Modelli per la Scorta di Sicurezza

1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL MODELLO

Il sistema di gestione delle scorte implementato nella Dashboard ROL si fonda sul principio del **Reorder Point** (punto di riordino), un parametro soglia che, al raggiungimento da parte della giacenza fisica, innesca automaticamente l'emissione di un ordine di approvvigionamento.

L'obiettivo primario è garantire la **continuità operativa** durante l'intero orizzonte temporale coperto dal Lead Time di fornitura, neutralizzando il rischio di rottura di stock attraverso un buffer statisticamente calibrato — la *Scorta di Sicurezza* — dimensionato in funzione del livello di servizio desiderato e della variabilità osservata sia nella domanda che nei tempi di consegna.

Il modello supporta tre livelli di complessità crescente per il calcolo della Scorta di Sicurezza: dall'approccio deterministico worst-case al modello stocastico bivariato di Hadley & Whitin, consentendo di adeguare il grado di sofisticazione analitica alla disponibilità di dati storici e alle esigenze specifiche della supply chain.

2 NOMENCLATURA E DEFINIZIONI

La tabella seguente riporta la nomenclatura adottata nel modello matematico, con i relativi simboli, definizioni operative e unità di misura di riferimento.

SIMBOLO	DENOMINAZIONE	DEFINIZIONE OPERATIVA	UNITÀ
D	Domanda mensile	Previsione di consumo medio per unità temporale (mese). Rappresenta la velocità di rotazione del magazzino in condizioni standard.	unità / mese
LT	Lead Time	Tempo intercorrente tra l'emissione dell'ordine di acquisto e il ricevimento fisico della merce in magazzino.	mesi
SS	Scorta di Sicurezza	Buffer aggiuntivo di scorta dimensionato per assorbire la variabilità della domanda e dei tempi di consegna durante il Lead Time.	unità
ROL	Reorder Point Level	Livello critico di giacenza al di sotto del quale occorre emettere un ordine di riapprovvigionamento per evitare la rottura di stock.	unità
S_{max}	Scorta Massima	Livello di giacenza target post-riordino; rappresenta la quantità ottimale a cui portare la scorta dopo il ricevimento dell'ordine.	unità
G	Giacenza Attuale	Consistenza fisica dello stock disponibile al momento dell'interrogazione, al netto delle quantità in transito o non ancora validate.	unità
n_c	Copertura aggiuntiva	Numero di mesi di domanda extra-ROL che si desidera coprire con il lotto di riordino; definisce l'ampiezza temporale dell'ordine.	mesi
Q_{ord}	Quantità da ordinare	Quantità calcolata automaticamente dal sistema al momento in cui si verifica la condizione di riordino ($G < ROL$).	unità

3 FORMULE FONDAMENTALI DEL SISTEMA

Le relazioni di controllo del magazzino obbediscono alle seguenti funzioni matematiche, derivate dalla teoria classica dell'inventary management a domanda continua.

3.1 — REORDER POINT LEVEL

Il Reorder Point è la giacenza minima sufficiente a soddisfare la domanda attesa durante l'intero orizzonte temporale del Lead Time, aumentata di un margine di sicurezza:

$$ROL = SS + LT \cdot D$$

PARAMETRI

SIMBOLO	DESCRIZIONE
<i>ROL</i>	Reorder Point Level — soglia di giacenza che attiva il processo di riordino, espressa nelle stesse unità della giacenza fisica.
<i>SS</i>	Safety Stock — buffer statistico calibrato secondo uno dei tre modelli descritti nella sezione 4. Garantisce la copertura durante i picchi imprevisi di domanda o ritardi di consegna.
<i>LT</i>	Lead Time — espresso in mesi (o in frazioni di mese per consegne sub-mensili). Deve essere coerente con l'unità temporale di <i>D</i> .
<i>D</i>	Domanda mensile media — previsione di consumo per unità temporale, tipicamente stimata come media mobile o media aritmetica delle vendite storiche.

3.2 — SCORTA MASSIMA (ORDER-UP-TO LEVEL)

La Scorta Massima definisce il livello obiettivo di giacenza al termine della ricezione dell'ordine, determinando l'entità del lotto di acquisto:

$$S_{max} = ROL + n_c \cdot D$$

PARAMETRI

SIMBOLO	DESCRIZIONE
<i>S_{max}</i>	Livello massimo di scorta target — quantità a cui si desidera portare la giacenza dopo il riapprovvigionamento.
<i>ROL</i>	Reorder Point Level, determinato dalla relazione al § 3.1.
<i>n_c</i>	Numero di mesi di copertura aggiuntiva oltre il ROL. Un valore di $n_c = 2$ implica che il lotto di riordino copre due mesi di domanda oltre la soglia di sicurezza.
<i>D</i>	Domanda mensile media, come definita al § 2.

3.3 — REGOLA DI INNESCO DEGLI ORDINI

La quantità da ordinare è determinata da una funzione a valore condizionale che attiva il riordino esclusivamente al verificarsi della condizione $G < ROL$:

$$Q_{ord} = \begin{cases} S_{max} - G & \text{se } G < ROL \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

La quantità ordinata è pari al complemento tra la Scorta Massima e la Giacenza Attuale, garantendo che ogni ordine riporti esattamente la giacenza al livello obiettivo S_{max} . Quando la giacenza risulta superiore o uguale al ROL, nessun ordine viene generato ($Q_{ord} = 0$).

4 MODELLI PER LA SCORTA DI SICUREZZA

La Scorta di Sicurezza (SS) può essere dimensionata con tre metodologie di complessità crescente. La scelta del modello dipende dalla disponibilità di dati storici affidabili e dall'esigenza di precisione nell'ottimizzazione del capitale circolante.

MODELLO I**Approccio deterministico worst-case**

Metodo euristico — applicabilità immediata, dati minimi richiesti

Il modello deterministico stima la Scorta di Sicurezza come il differenziale tra il fabbisogno nello scenario avverso simultaneo — domanda al picco e Lead Time massimo — e il consumo atteso in condizioni operative medie. Non incorpora alcuna distribuzione probabilistica: è un approccio conservativo basato sui valori estremi osservati storicamente.

$$SS_1 = D_{max} \cdot LT_{max} - \bar{D} \cdot \bar{LT}$$

PARAMETRI

SIMBOLO	DESCRIZIONE
SS_1	Safety Stock di Livello I — buffer deterministico calcolato per copertura worst-case.
D_{max}	Domanda mensile massima osservata nel campione storico. Tipicamente estratta come percentile 95° o 99° delle vendite storiche mensili.
LT_{max}	Lead Time massimo registrato, comprensivo di ritardi logistici e interruzioni di fornitura. Deve includere episodi straordinari documentati.
\bar{D}	Media aritmetica della domanda nel periodo di osservazione: $\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$
\bar{LT}	Lead Time medio contrattuale o empiricamente stimato dal benchmark di fornitura.

NOTA APPLICATIVA

Questo modello tende a sovrastimare la Scorta di Sicurezza poiché assume lo scenario avverso come certo. È raccomandato in contesti con scarsa disponibilità di dati storici o con prodotti ad alta criticità operativa (articoli A nella classificazione ABC).

MODELLO II**Modello statistico a variabile singola**

Approccio probabilistico — incertezza sulla domanda, Lead Time assunto deterministico

Il modello statistico introduce il concetto di *livello di servizio* (α) come parametro di controllo del rischio di stockout. L'incertezza è modellata esclusivamente sulla variabilità della domanda, assumendo il Lead Time costante. Il fattore z_α è il quantile della distribuzione normale standard corrispondente al livello di servizio prescelto.

$$SS_2 = z_\alpha \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{\bar{L}T}$$

PARAMETRI

SIMBOLO	DESCRIZIONE
SS_2	Safety Stock di Livello II — buffer statistico calibrato sul service level desiderato.
z_α	Z-score corrispondente al quantile α della distribuzione normale standard $\mathcal{N}(0, 1)$. Rappresenta la distanza — in unità di deviazione standard — tra la media e la soglia di copertura desiderata.
σ_D	Deviazione standard della domanda mensile stimata sul campione storico: $\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$ Misura la volatilità del consumo nel periodo di riferimento.
$\bar{L}T$	Lead Time medio, assunto costante. Il termine $\sqrt{\bar{L}T}$ scala la deviazione standard mensile all'intero orizzonte del Lead Time, in accordo con la proprietà additiva della varianza per processi i.i.d.

TAVOLA DEI VALORI DI Z_A PIÙ COMUNI

LIVELLO DI SERVIZIO A	Z_A	INTERPRETAZIONE
90%	1,282	Articoli a bassa criticità operativa
95%	1,645	Riferimento comune nel retail e distribuzione
97,5%	1,960	Prodotti con moderata criticità operativa
99%	2,326	Articoli ad alta criticità (es. ricambi vitali)

LIVELLO DI SERVIZIO A	Z_A	INTERPRETAZIONE
99,9%	3,090	Componenti mission-critical, nessuna tolleranza a stockout

MODELLO III**Modello stocastico bivariato — Hadley & Whitin**

Approccio avanzato — variabilità congiunta di domanda e Lead Time

Il modello di Hadley & Whitin (1963) estende il modello statistico a variabile singola introducendo l'incertezza *congiunta* e *indipendente* su entrambe le sorgenti di rischio: la variabilità della domanda del cliente (σ_D^2) e la variabilità dei tempi di consegna del fornitore (σ_{LT}^2). La formula propaga i due contributi di varianza attraverso un'espressione quadratica sotto radice, derivata dall'applicazione del teorema della varianza totale per variabili aleatorie indipendenti.

$$SS_3 = z_\alpha \cdot \sqrt{\bar{LT} \cdot \sigma_D^2 + \bar{D}^2 \cdot \sigma_{LT}^2}$$

PARAMETRI

SIMBOLO	DESCRIZIONE
SS_3	Safety Stock di Livello III — buffer stocastico ottimale per supply chain con doppia fonte di variabilità.
z_α	Z-score corrispondente al livello di servizio α prescelto, come definito al Modello II.
\bar{LT}	Lead Time medio atteso — media aritmetica dei tempi di consegna osservati nel periodo campionario.
σ_D^2	Varianza della domanda mensile — misura della dispersione quadratica del consumo attorno alla sua media: $\sigma_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2$ Il termine $\bar{LT} \cdot \sigma_D^2$ quantifica il contributo dell'incertezza lato domanda, scalato sull'orizzonte temporale del Lead Time.
\bar{D}^2	Quadrato della domanda media mensile. Funge da fattore di amplificazione: una domanda media elevata rende maggiormente critica qualsiasi variabilità nei tempi di consegna.
σ_{LT}^2	Varianza del Lead Time — misura la dispersione dei tempi di consegna attorno alla media: $\sigma_{LT}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (LT_i - \bar{LT})^2$ Il termine $\bar{D}^2 \cdot \sigma_{LT}^2$ quantifica il contributo dell'incertezza lato fornitore, proporzionale al quadrato della domanda media.

FONDAMENTO TEORICO

La struttura sotto radice quadrata è la conseguenza diretta dell'applicazione del

TEOREMA DELLA VARIANZA TOTALE

(Law of Total Variance) alla domanda cumulata durante il Lead Time, assumendo che la domanda per unità di tempo e il Lead Time siano variabili aleatorie indipendenti. Il risultato è la deviazione standard della domanda totale durante il tempo di approvvigionamento, su cui viene applicato il fattore di protezione z_α .

