

## **Capitolo 20 - Un caso reale di riorganizzazione del servizio manutenzione. Le scorte a magazzino: dimensionamento per simulazione.**

*Viene qui presentata una applicazione pratica di dimensionamento del magazzino ricambi mediante un metodo simulativo. Si vedrà come questo criterio permette di dimensionare in modo dinamico e flessibile le scorte di materiale sia sotto il profilo dell'affidabilità imposta sulla rottura di scorta che sotto quello della revisione dei livelli di magazzino al variare della situazione operativa dell'impianto.*

Sezioni:

### **20.1 - I tubi flessibili dell'impianto idraulico**

### **20.2 - Condizioni al contorno del problema**

### **20.3 - Il dimensionamento per una politica conservativa**

### **20.4 - Conclusioni**

### **20.1 - I tubi flessibili dell'impianto idraulico**

I tubi vengono assemblati all'interno dello stabilimento, ricorrendo a spezzoni misurati di tubo ricavati da una matassa e raccordi recuperabili con inserimento a vite.

Le cinque macchine possono essere realisticamente considerate identiche per quanto riguarda il numero e la disposizione dei tubi. Per ogni macchina è possibile definire in base ai dati raccolti sul campo quali sono i tubi più sollecitati e che quindi hanno un tasso di mortalità maggiore. Nel caso in questione si tratta dei seguenti elementi:

<b>n° tubi</b>	<b>lunghezza (cm)</b>	<b>Diametro Nominale (DN) (mm)</b>
33	100	6
16	135	6
5	70	6
2	80	6

I tubi sopra elencati presentano approssimativamente lo stesso tasso di guasto derivante dalla particolare disposizione all'interno dell'apparato. Il prezzo è definito come la somma del prezzo al metro più il costo di due raccordi e il montaggio degli stessi. Pertanto per cinque macchine si ha:

<b>n° tubi</b>	<b>lungh. (cm)</b>	<b>DN</b>	<b>% su tot. tubi</b>	<b>Prezzo unit. €</b>	<b>Prezzo tot. €</b>
165	100	6	59	17.700	2.920.500
10	80	6	3,5	16.500	165.000
25	70	6	9	15.900	397.500
80	135	6	28,5	19.800	1.584.000
<b>280</b>					<b>5.067.000</b>

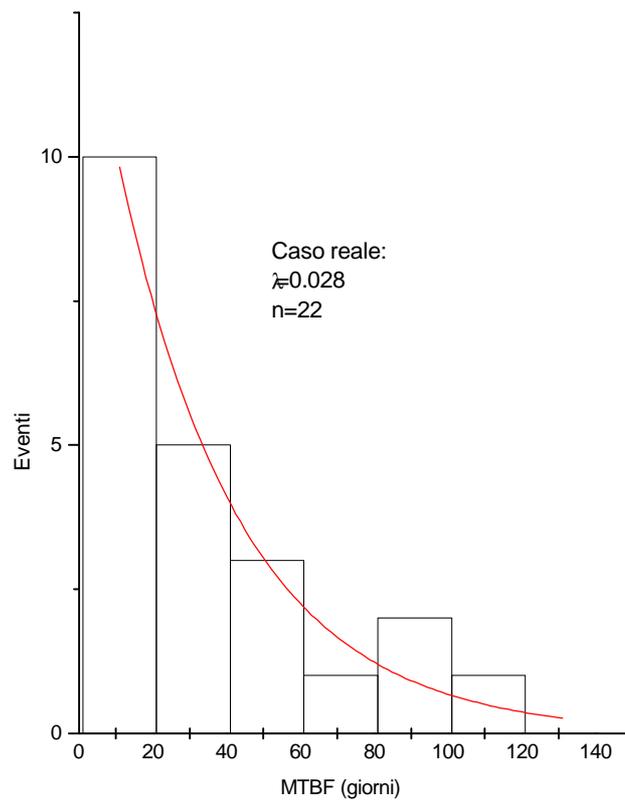
Il tempo di approvvigionamento assicurato dal fornitore è di 30 giorni.

## **20.2 - Condizioni al contorno del problema**

Per fare una simulazione che rispecchi con una certa fedeltà la situazione reale è necessario avere a disposizione una adeguata quantità di dati di partenza; l'assenza di documentazione storica si dimostra critica in quanto mancano i dati relativi agli interventi eseguiti dagli operatori che rappresentano la maggior parte delle operazioni complessive nel corso dell'anno produttivo. Si è in possesso unicamente delle RdM con le quali i tecnici della manutenzione sono stati informati del guasto e sono intervenuti.

Indagini condotte sul campo hanno permesso di stabilire che gli operatori procedono con la riparazione o la sostituzione di un tubo ottimisticamente almeno una volta ogni dieci giorni, pertanto verrà considerato ai fini della simulazione un MTBF di 8 giorni lavorativi.

Si può inoltre supporre, in base all'andamento dei dati in possesso e a quanto riportato su alcuni testi specializzati (citare la fonte) che la distribuzione dei MTBF ricalchi una legge di tipo esponenziale; ad avvallare questa ipotesi è qui riportata la distribuzione dei dati relativi alle RdM eseguite dalla manutenzione nei 2 anni precedenti l'analisi per le quali si hanno 22 eventi con un MTBF medio pari a 33 giorni:



### 20.3 - Il dimensionamento per una politica conservativa

Qualora non si intendesse procedere con una radicale sostituzione di tutti i tubi, è possibile dimensionare il magazzino ricambi in base alle seguenti ipotesi mediante un processo simulativo.

1. i tubi critici sono quelli elencati nel precedente paragrafo
2. il tempo di ripristino delle scorte è fissato dal fornitore approssimativamente in 30 giorni
3. il tempo medio di guasto è di 8 giorni lavorativi (analisi sul campo)
4. l'affidabilità delle scorte è fissata all'85 % (ovvero si ha una probabilità del 15% di rottura di scorta)

La simulazione proposta si basa sul calcolo della data di guasto simulato attraverso l'estrazione di una serie di numeri casuali da 0 a 1 (che rappresentano la probabilità di accadimento) e il loro inserimento nella curva esponenziale negativa vista nel paragrafo

precedente. Il risultato è una serie di tempi tra guasti successivi (TBF) dai quali è possibile estrarre le date di guasto simulato.

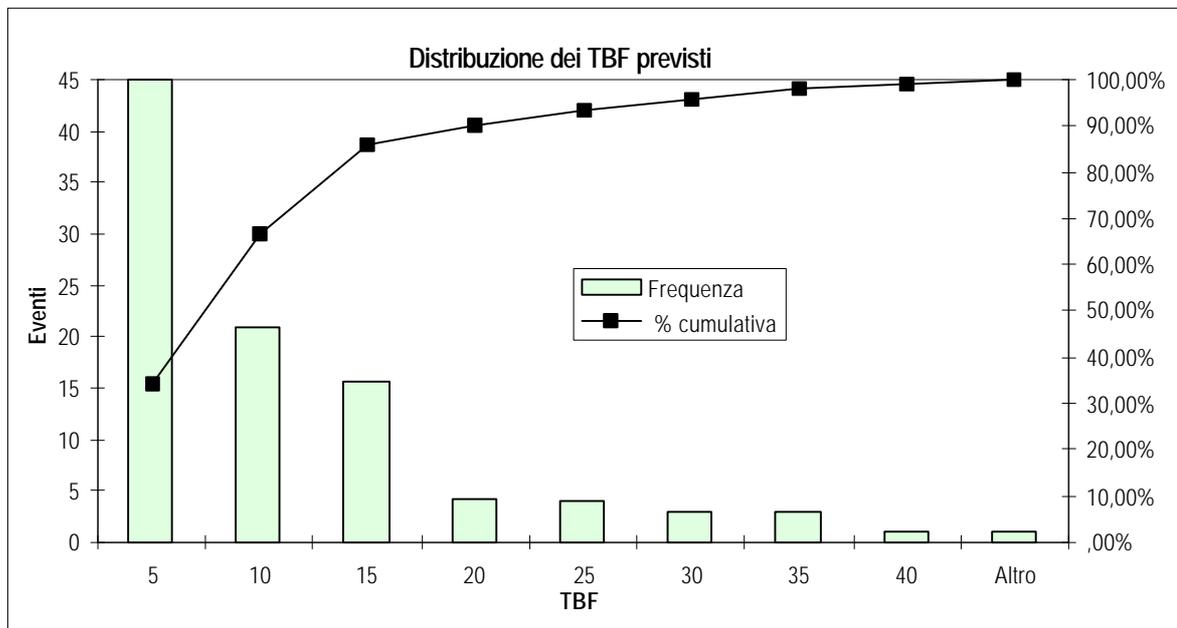
Nella seguente tabella sono riportati i dati relativi alla simulazione. Il progressivo a sinistra benché qui riportato per comodità fino a 24 estrazioni è composto nella sua interezza da 100 elementi, mentre il calendario degli eventi a destra è stato stilato in un intervallo di 24 mesi.

- $P(t_f)$  rappresenta il numero casuale immesso nella curva esponenziale cumulativa
- $t_f$  è la risposta della curva e rappresenta il tempo che intercorre tra la ripresa della funzionalità della macchina e il guasto successivo
- $t_f$  cumul. rappresenta la somma cumulata dei  $t_f$
- la data di probabile guasto è relativa alla somma cumulativa dal giorno 1 maggio con i  $t_f$

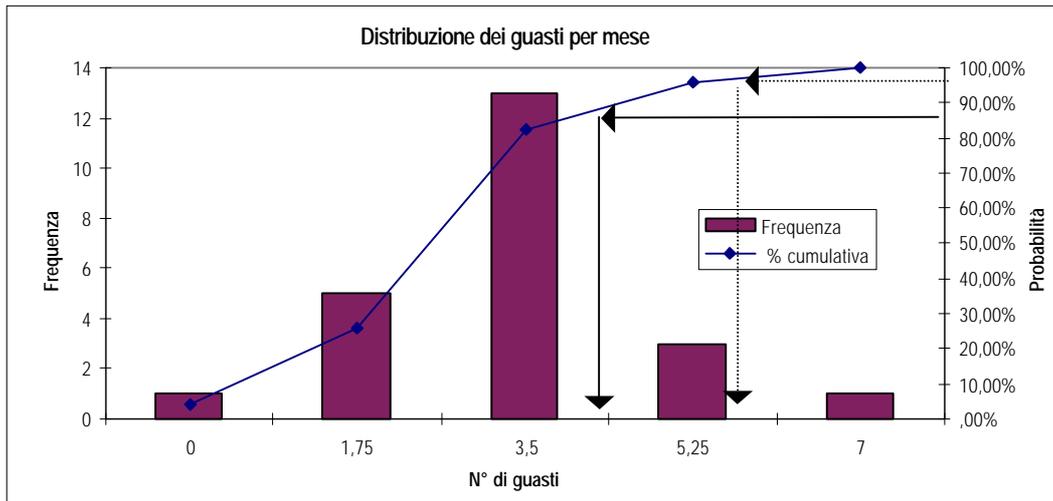
<b>Progr.</b>	<b>P(tf) (casuale)</b>	<b>tf</b>	<b>tf (cumul.)</b>	<b>data guasto</b>	<b>mese</b>	<b>guasti mese</b>
1	0,30	3	3	04-mag	mag	5
2	0,51	7	10	11-mag	giu	1
3	0,04	0	10	11-mag	lug	1
4	0,28	3	13	14-mag	ago	0
5	0,33	3	16	17-mag	set	2
6	0,85	19	35	05-giu	ott	4
7	0,93	26	61	01-lug	nov	2
8	1,00	69	130	08-set	dic	4
9	0,82	17	147	25-set	gen	1
10	0,40	5	152	30-set	feb	2
11	0,41	5	157	05-ott	mar	1
12	0,83	17	174	22-ott	apr	2
13	0,46	6	180	28-ott	mag	2
14	0,79	15	195	12-nov	giu	1
15	0,05	0	195	12-nov	lug	3
16	0,81	16	211	28-nov	ago	3
17	0,47	6	217	04-dic	set	2

18	0,55	7	224	11-dic		ott	4
19	0,32	3	227	14-dic		nov	3
20	0,81	16	243	30-dic		dic	3
21	0,97	35	278	03-feb		gen	3
22	0,12	1	279	04-feb		feb	3
23	0,91	24	303	28-feb		mar	3
24	0,99	42	345	11-apr		apr	7

Il seguente grafico mostra la distribuzione di tipo esponenziale dei tempi di guasto (TBF, Time Between Failures) previsti tramite la simulazione:



La distribuzione dei guasti mensili segue invece una distribuzione normale:



Considerato che per ogni guasto si consuma un tubo, la distribuzione dei guasti mensili rappresenta quella di utilizzo dei tubi.

Per ottenere una affidabilità delle scorte nei limiti imposti (fissati per il caso in esame ad un valore dell'85 %) è sufficiente rilevare, in corrispondenza della affidabilità richiesta alla scorta, il valore di guasti per mese prevedibili (come visualizzato dalle frecce in tratto continuo); il risultato è che per soddisfare le ipotesi iniziali sono necessari almeno 4 tubi di scorta al momento del riordino di cui, come dalle percentuali riportate sulla seconda tabella riportata nel paragrafo 2:

- 3 (2,36) tubi da 100 cm (59%)
- 1 (0,14) tubo da 80 cm (3,5%)
- 1 (0,36) tubo da 70 cm (9%)
- 2 (1,14) tubi da 135 cm (28,5%)

La maggiorazione (2,36 -> 3, 0,14 -> 1, ecc.) nel numero di tubi da mantenere a magazzino è cautelativa e motivata dalla possibilità di cedimenti del tubo per motivi accidentali quali contatti diretti e imprevisi con la mola in rotazione oppure danneggiamenti dovuti ad errori di manovra degli operatori.

Se l'affidabilità della scorta viene fissata, ad esempio, al 95% (si vedano le frecce tratteggiate nel precedente grafico) allora si osserva che il numero di tubi necessari a garantire la scorta calcolata sale a 6 con una conseguente redistribuzione numerica per tipologia di tubo vista nel caso precedente.

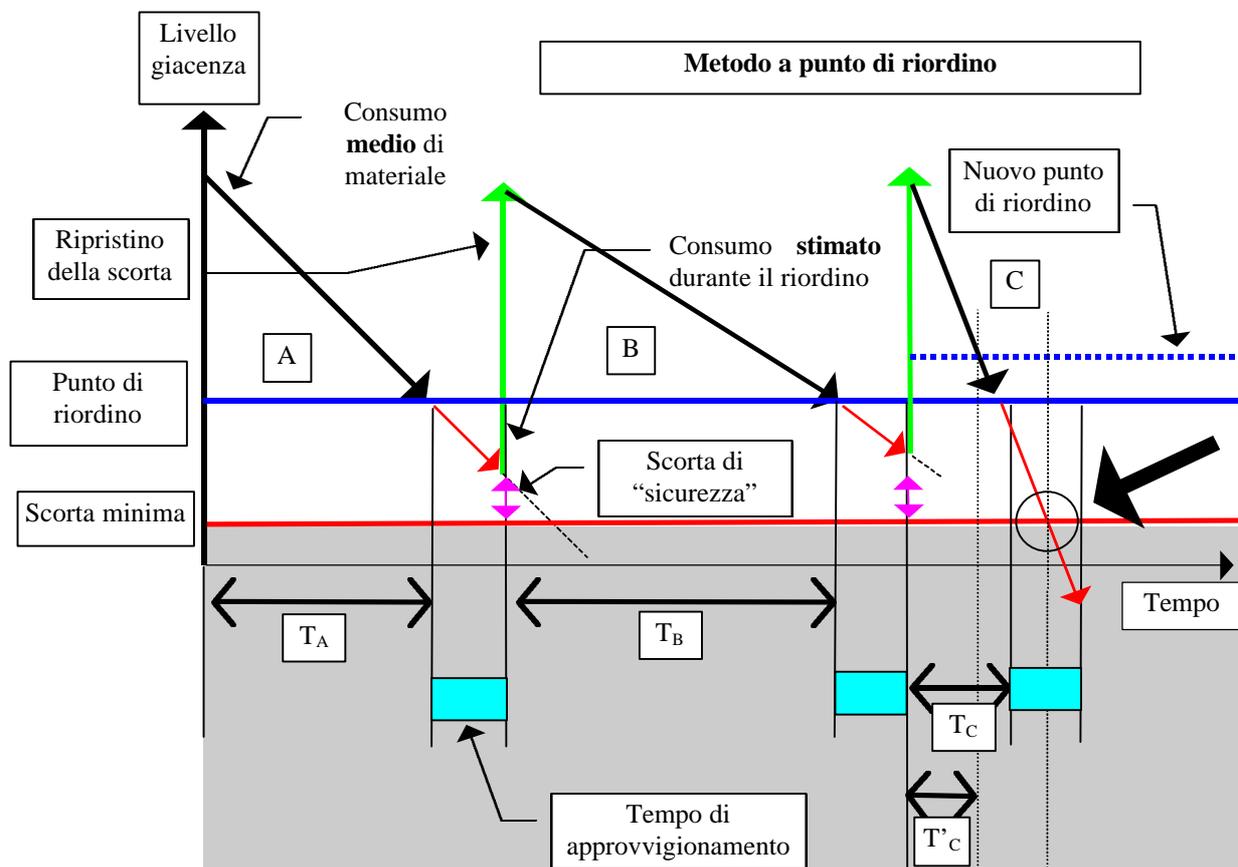
## 20.4 - Conclusioni

Se si intende tenere a magazzino una scorta sufficiente a coprire un intero anno produttivo di consumo (con affidabilità 85%) e, al termine del periodo, procedere al riordino dei necessari quantitativi di tubi per tipologia, le spese e le modalità di gestione possono essere le seguenti:

<b>Tipologia</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>N° tubi a scorta</b>	<b>Costo totale</b>
100 cm X DN6	17.700	3 tubi X 7,5 mesi + 3 tubi = 25 tubi	450.000
80 cm X DN6	16.500	1 tubo X 7,5 mesi + 1 tubo = 8 tubi	130.000
70 cm X DN6	15.900	1 tubo X 7,5 mesi + 1 tubo = 8 tubi	130.000
135 cm X DN6	19.800	2 tubi X 7,5 mesi + 2 tubi = 17 tubi	340.000
	<b>Totale</b>	<b>58 tubi</b>	<b>1.050.000</b>

Mantenendo a magazzino una scorta complessiva di circa 60 tubi di tipologie diverse si possono sostenere i guasti prevedibili in un anno lavorativo, al termine del quale, emesso l'ordine di reintegro, rimane una giacenza sufficiente a coprire il fabbisogno per il tempo di approvvigionamento.

Nel metodo a punto di riordino, schematicamente rappresentato nel seguente diagramma, si mantiene a magazzino una scorta di materiale che, in base al consumo *medio* viene periodicamente reintegrata al valore iniziale.



Noto il tempo di approvvigionamento (dal fornitore) e stimato un consumo *medio* (si supponga come nel caso A), proiettando linearmente la retta del consumo si ottiene la *stima* del materiale consumato nel tempo necessario all'approvvigionamento. Determinata inoltre una scorta di "sicurezza", spesso in base a parametri soggettivi (esperienza, intuizione, ecc.) e cautelativi nei confronti della rottura di scorta, viene determinato (e in genere fissato) il punto di riordino:

Si supponga, ad esempio, di calcolare con il metodo del punto di riordino la scorta a magazzino di un certo numero di guarnizioni di tenuta per le quali valgano le seguenti ipotesi (caso A):

- giacenza iniziale: 520 pz
- quantità conveniente di riordino: 500 pz
- consumo *medio*: 50 pz/giorno
- tempo di ripristino della scorta: 2 giorni
- scorta di "sicurezza": 20 pz

La scorta necessaria da avere a magazzino al momento del riordino (punto di riordino) può essere fissata in:

$$50 \text{ (pz/giorno)} * 2 \text{ (giorni)} + 20 \text{ (pz)} = 120 \text{ pz}$$

Le guarnizioni dovranno quindi essere riordinate al fornitore quando il contenitore contiene 120 pezzi (nelle correnti ipotesi cautelative) e quindi dopo aver consumato 380 guarnizioni, ovvero dopo:

$$T_A = 380 \text{ (pz)} / 50 \text{ (pz/giorno)} = 7,6 \text{ giorni}$$

Poiché la valutazione del consumo è media, essa non tiene conto delle variazioni istantanee del consumo stesso.

Nel caso B (periodo successivo), il consumo è inferiore a quanto stimato nel caso precedente (ad esempio perché non è stato richiesto l'uso di una macchina cui sono destinate le guarnizioni). In questo caso quindi i parametri per il riordino precedentemente calcolati sono eccessivamente cautelativi e si presentano due casi:

1. si ritarda il riordino a  $T_B > T_A$
2. si riordina comunque dopo 7,6 giorni ma un quantitativo di guarnizioni inferiore a 500 pezzi (sconveniente)

Il caso B è ottimistico in rapporto al caso A.

Se si considera il caso C, in cui il consumo giornaliero è molto elevato (ad esempio a causa di una anomalia sulla macchina che causi un notevole numero di sostituzioni della guarnizione), si nota che mantenendo inalterati i parametri di ripristino del caso A (120 pz di scorta al riordino), si incorre in una rottura di scorta. Per ovviare a questo inconveniente sarebbe necessario, osservato il ritmo effettivo di consumo, rideterminare contestualmente i parametri anticipando il momento del riordino da  $T_C$  a  $T'_C$  in modo da arrivare al ripristino con un certo livello di scorta di sicurezza (nel caso C,  $T'_C$  rappresenta un livello di scorta di sicurezza nullo), ovvero rideterminando il punto di riordino.

Si abbia, numericamente:

- giacenza iniziale: 520 pz
- quantità conveniente di riordino: 500 pz
- consumo *medio*: **100** pz/giorno
- tempo di ripristino della scorta: 2 giorni
- scorta di sicurezza: 0 pz

In tal caso si avrebbe un consumo totale della scorta dopo appena:

$$520 \text{ (pz)} / 100 \text{ (pz/giorno)} = 5,2 \text{ giorni}$$

quindi il riordino dopo 7,6 giorni è improponibile perché si sarebbe già in rottura.

Supponendo di riordinare quando la giacenza è di 120 pz, ovvero dopo:

$$T_c = 380 \text{ (pz consumati)} / 100 \text{ (pz/giorno)} = 3,8 \text{ giorni}$$

nei 2 giorni necessari al ripristino si consumerebbero 200 pz e quindi si avrebbe comunque una rottura di scorta.

Per riordinare senza rottura di scorta nel caso C (con scorta di sicurezza nulla) i parametri dovrebbero essere i seguenti:

$$\text{Punto di riordino} = 520(\text{pz}) - 100 \text{ (pz/giorno)} * 2 \text{ (giorni)} + 0 \text{ ("sicurezza")} = 320 \text{ pz}$$

e quindi

$$T'_c = 320 \text{ (pz)} / 100 \text{ (pz/giorno)} = 3,2 \text{ giorni}$$

con un quantitativo di riordino di 520 pezzi (sconveniente).

Si intende evidenziare in questa sede che la valutazione del consumo *medio* per la determinazione dei livelli di scorta può condurre, in certi casi, a due differenti situazioni:

1. una situazione (B) di sovradimensionamento della scorta (che può anche non influire significativamente a livello produttivo)
2. una situazione (C) di rottura di scorta (generalmente più significativa della precedente)

e, in generale, ad uno stato di continua sorveglianza dei parametri di gestione del riordino con conseguente impiego di risorse.

Il vantaggio del dimensionamento per simulazione consiste nel valutare l'utilizzo del materiale in base alla reale storia delle sostituzioni, tenendo quindi conto non del valore *medio* del consumo, ma di un valore più simile alla realtà, comprensivo quindi dei possibili fenomeni di variazione del consumo stesso.

Alla scorta di sicurezza, basata in genere su considerazioni soggettive, si affianca (o sostituisce) la determinazione di un livello arbitrario di affidabilità della scorta (che chiameremo  $R$ ), che rappresenta in altri termini la probabilità  $P$  (data da  $P=1-R$ ) di rottura e il cui valore può essere motivato da ragioni di convenienza economica tra investimento economico in scorta e rischio di rottura.