

Reliability & Minitab

Ing. Pier Giorgio DELLA ROLE – Six Sigma Master Black Belt
pgrole@yahoo.it

Il linguaggio e i concetti dell'affidabilità

I miglioramenti della qualità dei prodotti hanno solitamente due aspetti: uno interno ed uno esterno.

I miglioramenti interni riguardano la riduzione degli scarti, delle rilavorazioni e dei costi di ispezione. Ad esempio un produttore di parti estetiche in plastica cercherà di ottenere le sfumature di colore richieste dai suoi clienti e, più si avvicina al target richiesto, più vedrà diminuire i costi relativi agli scarti.

I miglioramenti esterni invece riguardano le prestazioni del prodotto viste attraverso l'uso che il cliente ne farà. Nell'esempio precedente, il cliente non solo sarà attento al colore del componente al momento dell'acquisto, ma sarà anche interessato a che il colore rimanga inalterato nel tempo.

I benefici della qualità esterna (durata nel tempo) sono tanti e facilmente quantificabili come ad esempio i costi di garanzia, i costi delle riparazioni in field, i costi delle campagne di richiamo e spesso anche i costi di "re-design" del prodotto.

Dai vantaggi sopra descritti, nasce l'importanza del concetto di **affidabilità** che viene definita in modo sintetico come **"quality over time"** (la qualità nel tempo).

Una definizione più formale è la seguente:

L'affidabilità è la probabilità che un sistema (prodotto, sottosistema, componente) svolga la sua funzione per un determinato periodo di tempo, operando entro specifiche condizioni.

L'affidabilità è quindi una caratteristica del prodotto e come tale deve essere progettata mentre si sviluppa il prodotto (Design for Reliability).

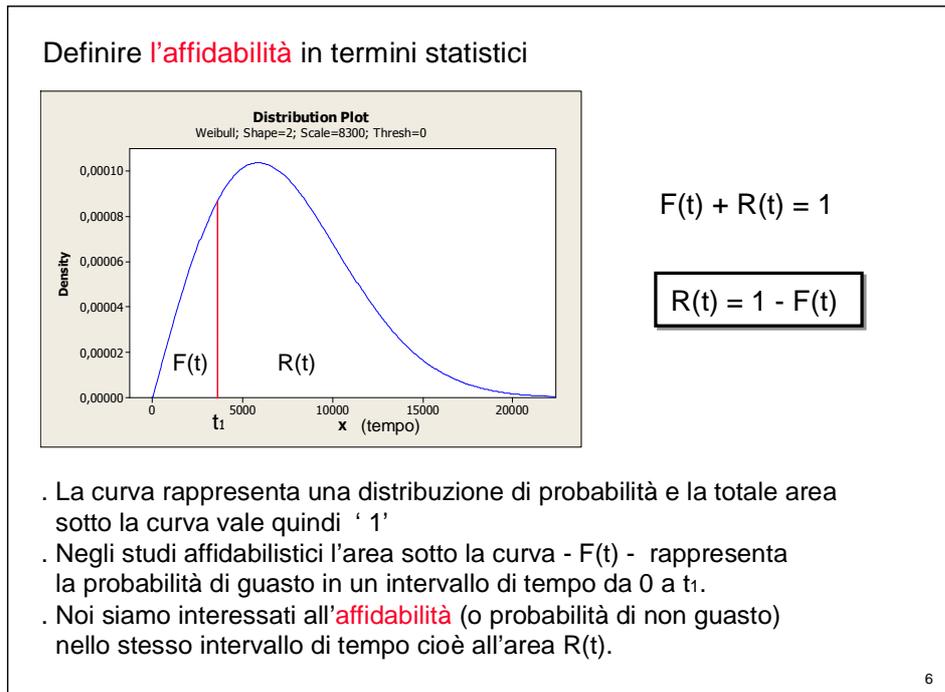
Poiché l'affidabilità è una probabilità, il suo valore varierà tra 0 e 1 oppure tra 0% (completamente inaffidabile) e 100% (completamente affidabile).

Ad esempio se diciamo che un prodotto ha una affidabilità del 70% a 5000 ore (in forma abbreviata: $R(5000) = 0,70$), ciò significa che il 70% dei prodotti sarà ancora perfettamente funzionante dopo 5000 ore

E' importante notare come l'affidabilità viene sempre enunciata : **xx% affidabile a x ore**

Definire l'affidabilità in termini statistici

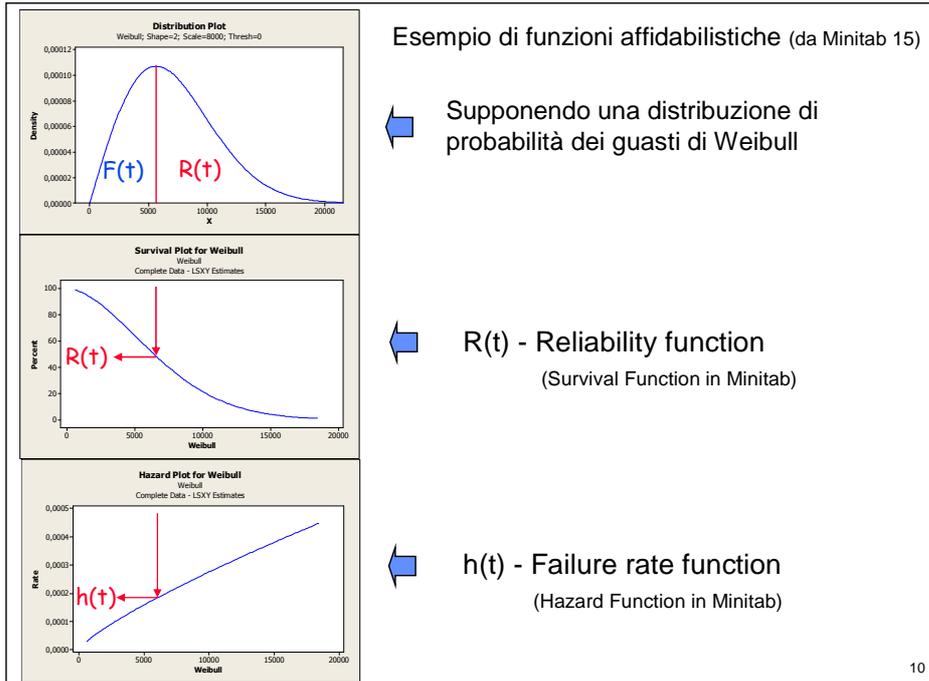
Per predire in modo corretto l'affidabilità occorrono i "failure data" cioè testare un campione di prodotti e registrare esattamente quando ogni singolo prodotto ha un guasto cioè la sua funzionalità viene meno. Quando i test sui campioni saranno completati, occorre trovare un modello che rappresenti correttamente l'andamento dei guasti nel tempo che solitamente viene chiamato Probability Density Function (PDF) e $f(t)$.



Quindi riassumendo in termini statistici si ha:

- . $f(t)$: è la "**probability density function**", se si diagrammano i dati di guasto con un istogramma è la funzione di "smoothing" di tali dati;
- . $F(t)$: è la "**cumulative distribution function**" cioè è l'area sotto la curva $f(t)$ e rappresenta la probabilità di guasto relativa ad un certo tempo " t ";
- . $1 - F(t)$: rappresenta quindi la probabilità di non guasto al tempo " t " ed è anche nota come "**Reliability Function**" $R(t)$ (in Minitab: **Survival Function**);
- . $h(t) = f(t)/R(t)$: nota come "**failure rate**" o tasso di guasto istantaneo cioè la propensione di un prodotto di guastarsi in un prossimo e piccolo intervallo di tempo.

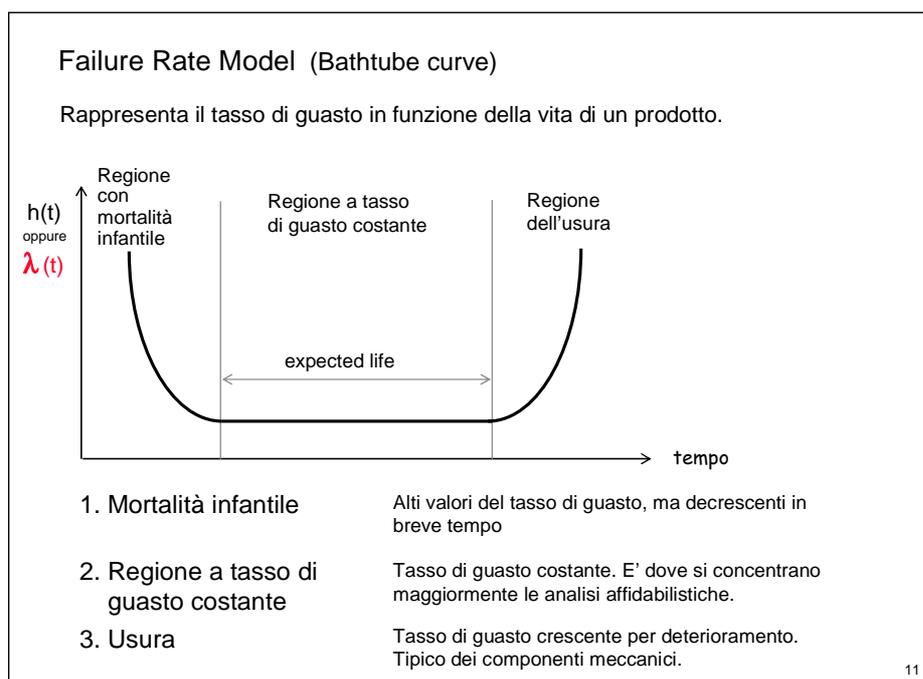
Graficamente e con Minitab è possibile rappresentare le funzioni sopra descritte:



Uno dei temi fondamentali negli studi affidabilistici è conoscere l'andamento del tasso di guasto (numeri di guasti nell'unità di tempo – indicato con $h(t)$ o $\lambda(t)$ nella letteratura) in funzione della vita di un prodotto.

La figura sottostante mostra la nota "bathtub curve" (curva a vasca da bagno) dove sono distinguibili tre aree:

- regione con mortalità infantile
- regione a tasso di guasto costante
- regione dell'usura o deterioramento



Conoscere in quale regione ci si trova è utile ai fini di capire la natura del guasto e quindi intraprendere la corretta strategia per le azioni di miglioramento. A titolo di esempio si può affermare che i guasti nella regione di mortalità infantile derivano quasi sempre da problemi di qualità (produzione, montaggio), mentre per le altre due regioni si fa riferimento a problemi di “design” cioè di progettazione del prodotto.

La figura sottostante riassume le principali cause nelle tre regioni della “bathtub curve” e le possibili azioni di miglioramento.

FAILURE RATE MODEL (Bathtub curve)

Cause e Rimedi Regioni	CAUSE	RIMEDI
Mortalità Infantile (Infant mortality)	<ul style="list-style-type: none"> . Qualità progettazione (progetto non adeguato al tipo di applicazione) . Qualità produzione/montaggio (connettori non inseriti, coppia di serraggio impropria, etc. . .) 	<ul style="list-style-type: none"> . 'Burn-in' (Far funzionare il prodotto per un breve periodo di tempo prima della consegna al cliente)
A tasso di guasto costante (expected life)	<ul style="list-style-type: none"> . Qualità progettazione . Qualità produzione/montaggio . Severità di uso diversa da quella prevista a progetto . Uso del prodotto in ambiente ostile 	<ul style="list-style-type: none"> . 'Robust Design' . Redundancy . Derating . Over-design
Deterioramento (wearout)	<ul style="list-style-type: none"> . Qualità progettazione . Qualità produzione/montaggio 	<ul style="list-style-type: none"> . 'Robust Design' . Preventive maintainance

25

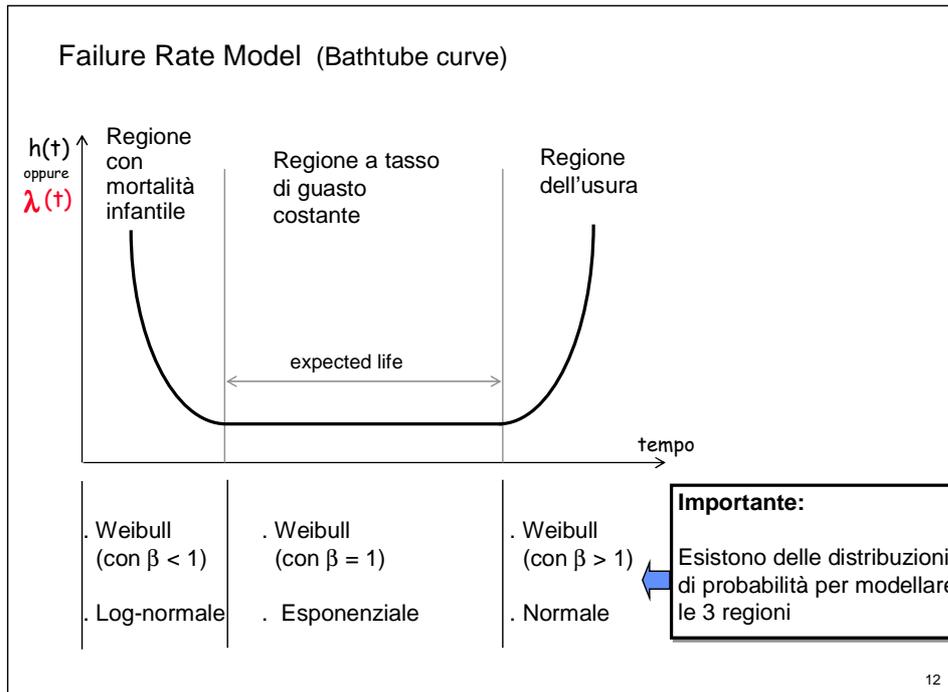
Tipi di distribuzioni per l'affidabilità

La figura sottostante riassume come siano disponibili diversi tipi di distribuzioni in grado di rappresentare le tre regioni cioè la variazione del tasso di guasto – $h(t)$ nel tempo.

La distribuzione di Weibull deve la sua notorietà alla flessibilità cioè al fatto che è in grado di rappresentare le tre regioni suddette cambiando il parametro di forma (β) presente nella sua formula matematica.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{T - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} * e^{-\left[\frac{T - \gamma}{\eta} \right]^{\beta}}$$

Per definire la distribuzione di Weibull oltre al parametro di forma, occorre determinare altri due parametri : parametro di scala (η) e parametro di posizione (γ).



Indicatori e termini dell'affidabilità

La tabella sottostante riassume i principali indicatori usati per definire l'affidabilità di un prodotto.

I termini dell'AFFIDABILITA'

Termini	Italiano	Inglese	Note
R(t)	Affidabilità	Reliability	Occorre indicare: xx% affidabile a xx ore
h(t)	Tasso di guasto	Failure rate	Spesso viene indicato con $\lambda(t)$
MTTF	Tempo medio al primo guasto	Mean Time to Failure	Si applica ai prodotti non riparabili
MTBF	Tempo medio tra i guasti	Mean Time Between Failure	Si applica ai prodotti riparabili
MTTR	Tempo medio per la riparazione	Mean Time to Repair	Comprende sia il tempo per la diagnosi sia il tempo per la sostituzione della parte
b_q life	Tempo a cui corrisponde una percentuale di guasti pari a 'q' (%)	The time (b) at which a specified percent (q) of the population is expected to have failed	$b_{10} = 1000$ (ore) Dopo 1000 ore di funzionamento il 10% della popolazione ha avuto un guasto.

17

Analisi affidabilistiche

Vediamo, con un esempio, come valutare l'affidabilità avendo a disposizione i dati di guasto (failure data) e usando Minitab.

Supponiamo di aver fatto un test di durata su 40 lampadine misurando, per ciascuna di esse, il tempo in ore in cui rimangono accese.

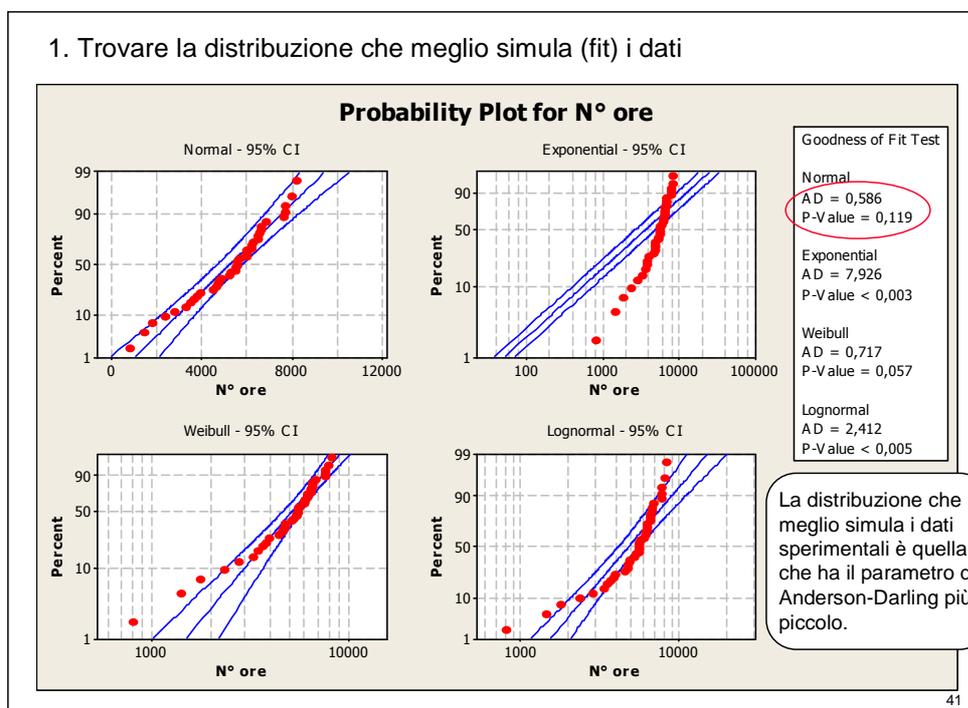
Siamo interessati a calcolare i seguenti parametri:

- Il **MTTF** (Mean Time To Failure) e quindi la probabilità del primo (e unico) guasto in quanto si tratta di prodotti non riparabili;
- il valore di affidabilità a 3000 ore – **R(3000)**
- il parametro “**b₁₀**” cioè dopo quante ore di funzionamento il 10% della popolazione ha avuto un guasto.

Modo di procedere:

- Trovare la distribuzione di probabilità (dei guasti) che meglio simula (fit) i dati. Minitab dispone di 14 distribuzioni e il comando è il seguente:**

Stat > Reliability/Survival > Distribution Analysis (right censoring) > Distribution ID Plot



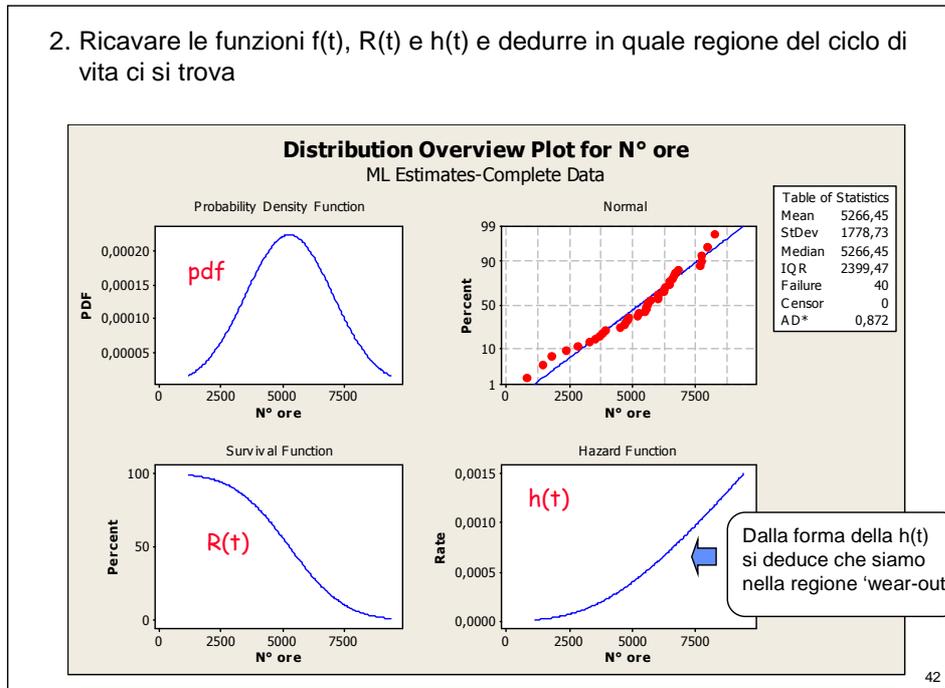
In questo modo possiamo determinare la “best fitting distribution” sia dai grafici sia dal parametro AD (Anderson-Darling). La distribuzione che meglio simula i dati sperimentali è quella che ha il parametro AD più piccolo (e di conseguenza il p-value maggiore). Nel nostro caso specifico è la distribuzione normale o di Gauss.

2. Ricavare le funzioni $f(t)$, $R(t)$ e $h(t)$ e dedurre in quale regione del ciclo di vita ci si trova.

Il comando di Minitab è il seguente:

Stat > Reliability/Survival > Distribution Analysis > Distribution Overview Plot

Il grafico risultante è quello riportato sotto.



Dalla forma della $h(t)$ si deduce che siamo nella regione dell'usura o deterioramento, in altre parole le lampadine smettono di funzionare perché il filamento si consuma.

3. Calcolare b_{10} e i valori di affidabilità (R) in funzione delle ore che interessano.

Il comando di Minitab è il seguente:

Stat > Reliability/Survival > Distribution Analysis > Parametric Distribution Analysis

E i risultati saranno riassunti nella "Session" di Minitab come riportato nella figura soprastante.

3. Calcolare b10, b50 ed i valori di affidabilità in funzione delle ore

Distribution: Normal

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0,8183

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	5266,450	281,2413	4715,227	5817,673
Standard Deviation	1778,726	198,8676	1428,703	2214,503

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	1128,514	541,4131	67,3637	2189,664
10	2986,921	379,5390	2243,038	3730,803
50	5266,450	281,2413	4715,227	5817,673
90	7545,979	379,5390	6802,097	8289,862

Dopo 2986 ore di funzionamento il 10% della popolazione ha avuto un guasto.

$$b_{10} = 2986 \text{ (ore)}$$

Table of Survival Probabilities

Time	Probability	95,0% Normal CI	
		Lower	Upper
2000,000	0,9669	0,9080	0,9905
3000,000	0,8987	0,8043	0,9546
3500,000	0,8397	0,7305	0,9149
4000,000	0,7618	0,6425	0,8552
4500,000	0,6667	0,5426	0,7748

$$R(3000) = 0.8987$$

43

Definire il periodo di garanzia usando i dati di affidabilità

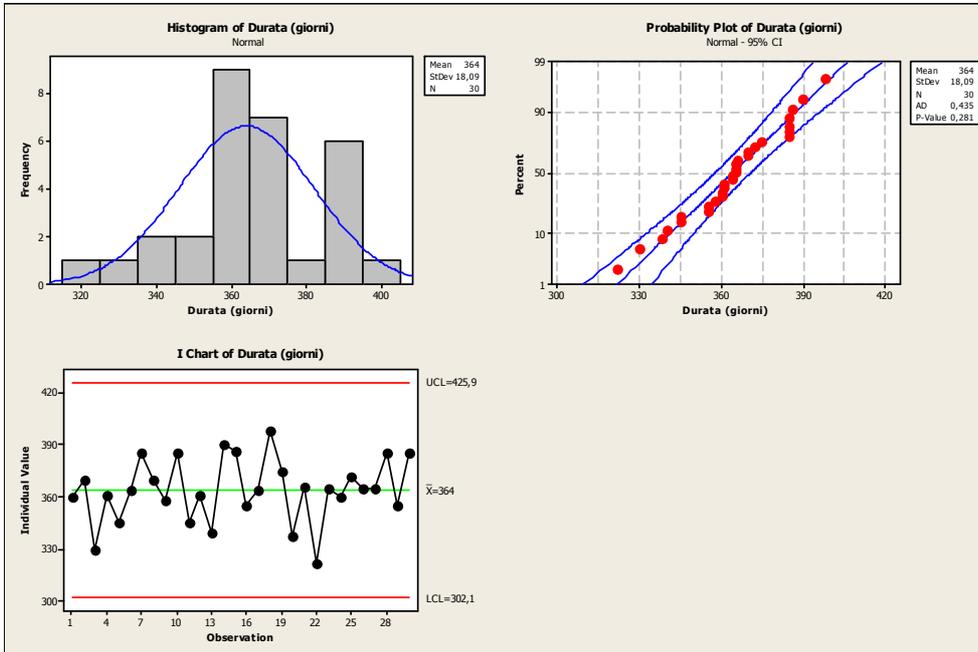
I prodotti commerciali e di largo consumo prevedono un periodo di garanzia a volte definito dal costruttore o altre volte stabilito per legge. Solitamente per stabilire la durata del periodo di garanzia vengono presi in considerazione diversi fattori quali:

- . Lo standard industriale per quel tipo di prodotto
- . Cosa offre la concorrenza
- . Il periodo di tempo durante il quale una certa percentuale di prodotto è ancora funzionante (affidabilità)

Facciamo un esempio considerando un campione di 30 prodotti testati in una prova di durata fino ad arrivare al guasto.

Durata (giorni)	Prodotto
360	1
370	2
330	3
361	4
345	5
364	6
385	7
370	8
.....	..
.....	..
385	30

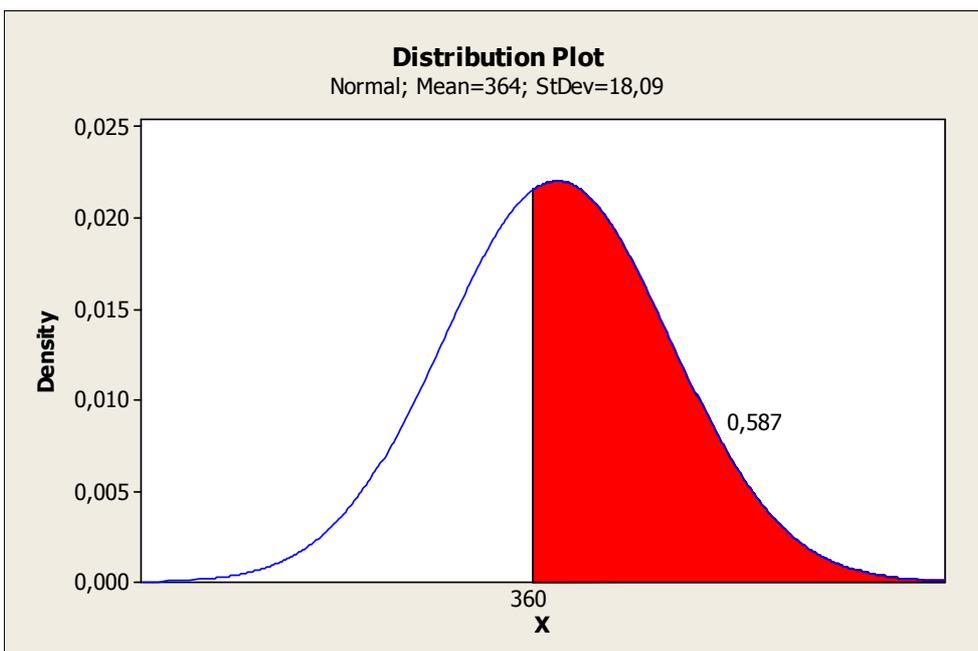
La media dei 30 valori vale 364 giorni e la deviazione standard è 18,09 giorni. La distribuzione che meglio simula i dati è quella normale (vedere il Probability Plot con un p-value > 0,05)



Se adesso fissiamo il periodo di garanzia in 360 giorni, è possibile calcolare la percentuale di prodotti che subisce un guasto prima di tale periodo – $F(t)$ oppure l'affidabilità cioè la percentuale di prodotti che dopo 360 giorni funziona ancora.

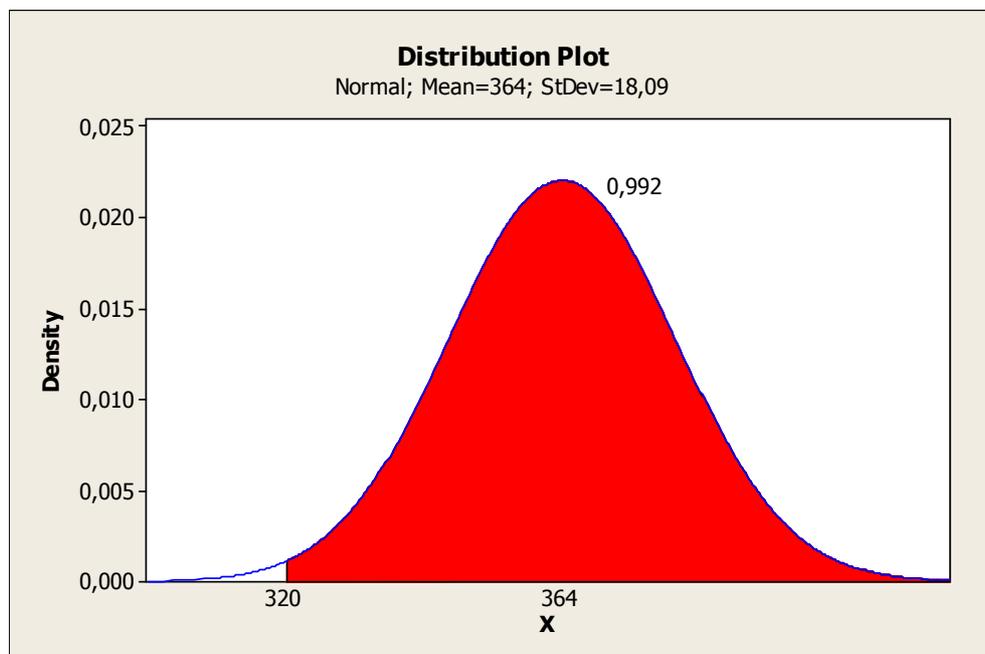
Minitab esegue questo calcolo graficamente con il seguente comando:

Graph > Probability Distribution Plot > View Probability



Quindi in questo caso risulta che l'affidabilità (area rossa del grafico) del prodotto a 360 giorni è pari a 58,7%.

Valore decisamente basso e quindi è conveniente ridurre il periodo di garanzia e per esempio rifare il calcolo considerando un valore pari a 320 giorni.



In questo caso si ottiene un valore di affidabilità sicuramente più accettabile (R = 99,2% a 320 giorni).

La garanzia è sovente usata per differenziarsi dai prodotti della concorrenza e quindi incrementare le vendite.

D'altra parte i costi di garanzia possono aver un significativo impatto sulle riparazioni e sostituzioni dei componenti poco affidabili e in ultima analisi ciò incide non poco sulla "customer satisfaction".

I metodi sopra esposti permettono quindi di effettuare un bilanciamento preventivo tra costi di garanzia e soddisfazione dei clienti.