

AFFIDABILITÀ

(Prof. Ing. ANTONIO ZANINI)

1. - CONTROLLO DI QUALITÀ

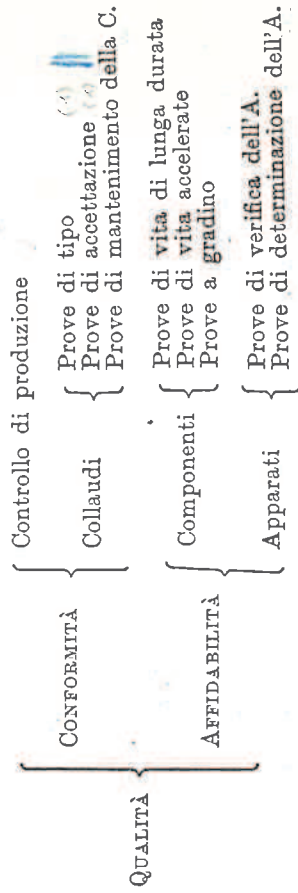
1.1. Qualità. — La qualità di un prodotto risulta dalla combinazione di due proprietà:

a) conformità: è la rispondenza dei suoi parametri funzionali a certi valori prestabiliti (dati di targa, specifiche del capitolato di acquisto, ecc.); è definita da parametri deterministici (tolleranze di fabbricazione, % di difetti, IQA, ecc.).

b) affidabilità: assicura il corretto funzionamento del prodotto durante il suo impiego; poiché esprime una previsione, può essere indicata soltanto mediante grandezze statistiche (MTTF, MTBF, vita utile, ecc.).

La verifica della qualità deve essere valutata in tempi e con procedure differenti secondo il prodotto considerato; per la conformità i momenti tipici sono in generale due: durante il processo produttivo (controllo di produzione) e al momento del passaggio dal costruttore all'utilizzatore (collaudi). Per l'affidabilità le prove si distinguono a seconda che si tratti di componenti, o comunque di dispositivi costruiti in serie, oppure di apparati. Uno schema generale di tutte le diverse verifiche è mostrato in Tab. I.

TAB. I.



1.2. Prove di conformità. — Il controllo della qualità di un prodotto deve essere applicato in tutte le fasi del ciclo produttivo, dalla progettazione all'approvvigionamento dei materiali e a tutte le fasi costruttive (o almeno a quelle più critiche). I controlli possono essere di due tipi: a) controllo per variazioni, quando si considera una caratteristica misurabile rispetto ad una scala continua e variabile entro una certa gamma di valori; b) controllo per attributi, quando si osserva una caratteristica sulla quale viene dato unicamente un giudizio di appartenenza a due o più categorie (buono o cattivo, passa o non passa, ecc.). Prima di immettere un prodotto sul mercato, o al momento dell'acquisto,

(1) esempio: specificare tecnica IS 402 (ferrodinamica)

10.400 foto. prove cliniche

a) cambio temperatura

b) caldo

c) freddo

d) ciclo caldo-freddo

servanti: b1, c1 = 8 ore a TH e TL

b2, c2 = 2 ore a TH e TL

b1 = tipo b2 = accettazione
c1 = " c2 = "

TH = +5°C

TL = -40°C

esso viene sottoposto alle prove di collaudo. Nelle produzioni di massa risulta molto oneroso effettuare il controllo su tutti gli elementi prodotti. Pur essendo questa la tendenza più recente, resa possibile dai sistemi di misura automatici gestiti da calcolatore, sono ancora numerosi i casi in cui risulta più economico attuare le prove mediante *campionamento statistico*. Da ogni *lotto* sottoposto al collaudo si estrae a caso un prestabilito numero di pezzi, detto *campione*, che vengono sottoposti a tutte le prove previste dal collaudo (diverse secondo che si tratti di prove di tipo o di accettazione o di mantenimento); dal numero di pezzi ritenuti difettosi, in base ad un determinato criterio di valutazione, si risale, in termini probabilistici, alla percentuale di difettosi nel lotto e si stabilisce se accettarlo o rifiutarlo. Tutti i parametri vengono scelti in base ad un *piano di campionamento*, caratterizzato da una curva che indica la probabilità di accettazione di un lotto, P_a , in funzione della percentuale p di pezzi difettosi in esso presente. L'andamento della curva (fig. 1) dipende dalla numerosità N del lotto, dalla numerosità n del campione prelevato e dal numero D di pezzi difettosi ammesso nel campione. Essa è caratterizzata da due punti:

— *Livello di qualità accettabile*, LQA: è la massima percentuale di difettosi nel lotto che può essere considerata soddisfacente come indice della qualità media della produzione; normalmente è il valore di p cui corrisponde una probabilità di accettazione di 0,95 (cioè significa che su 100 lotti, aventi tutti una difettosità $p = LQA$, mediamente 95 verranno accettati e 5 rifiutati).

— *Livello di qualità tollerabile*, LQT: è la massima percentuale di difettosi che l'utilizzatore può ammettere nel prodotto acquistato; normalmente è il valore di p cui corrisponde una probabilità di accettazione di 0,10 (cioè su 100 lotti aventi tutti $p = LQT$, mediamente 90 vengono rifiutati e 10 accettati).

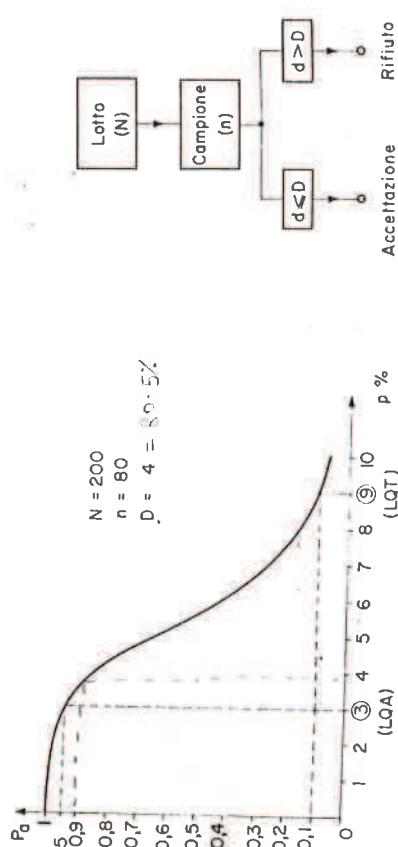


Fig. 1. — Esempio di curva caratteristica di un piano di campionamento.

All'aumentare del rapporto n/N (a parità delle altre condizioni) la curva risulta sempre più discriminante, fino a risultare del tipo a gradino per $n/N = 1$, cioè per un collaudo al 100%. Altre definizioni adottate sono le seguenti:

— *Rischio del fornitore*: è la probabilità che un lotto buono non venga accettato al collaudo; per $p = LQA$ il rischio è di 0,05.

— *Rischio del committente*: è la probabilità che un lotto cattivo venga accettato al collaudo; per $p = LQT$ il rischio è di 0,1.

— *Livello di ispezione*: stabilisce il rapporto n/N , cioè la capacità discriminante del piano di campionamento. Le norme internazionali (Pubblicazione IEC 410) indicano tre livelli normali I, II, III (in ordine crescente di discriminazione) e quattro livelli con discriminazione ridotta S-1, S-2, S-3, S-4, impiegabili dove può essere tollerato un rischio più elevato di peggiore discriminazione.

1.3. Piani di campionamento. — Sono previste varie procedure di campionamento.

1.3.1. Piani di campionamento semplice (fig. 2). — Si effettuano prelevando un campione di n pezzi e confrontando il numero di difettosi d in esso rilevato con il massimo valore D stabilito in base al livello di ispezione prescelto.

1.3.2. Piani di campionamento doppio (fig. 3). — Risultano più economici dei precedenti nel caso di lotti molto buoni o molto cattivi, poiché si giunge ad una decisione con campioni più piccoli. Si effettua prelevando un campione di n_1 pezzi e confrontando il numero d' di difettosi in esso trovati con due valori di riferimento, uno di accettazione D_{a1} e uno di rifiuto $D_{r1} > D_{a1}$; se d' è compreso tra questi due limiti, si estrae dal lotto un secondo campione di n_2 pezzi, si individuano i difettosi d'' in esso presenti e la somma $d' + d''$ si confronta con un terzo valore di riferimento D_{r2} . (A) *copie AVE-ATO A*

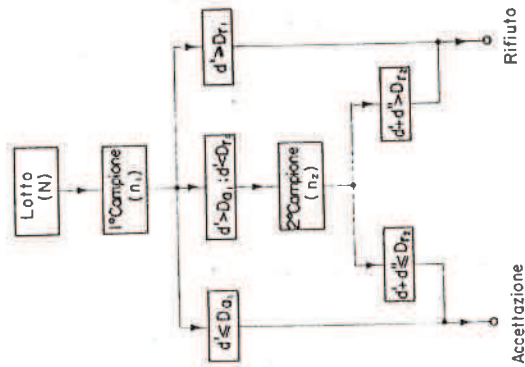


Fig. 3. — Campionamento doppio.

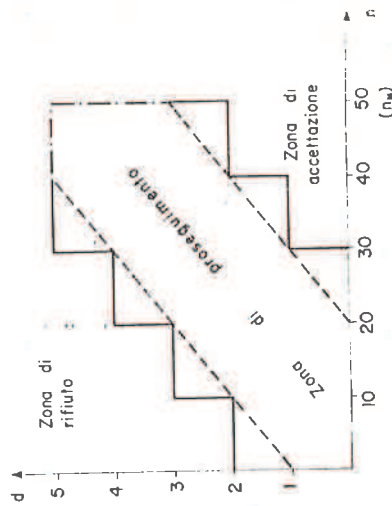


Fig. 4. — Campionamento sequenziale.

1.3.3. Piani di campionamento sequenziale (fig. 4). — Consistono nel prelevare dal lotto un numero n di pezzi gradualmente crescente e nel confrontare il numero d di difettosi trovati con un diagramma dove sono indicate tre zone: una di accettazione, una di rifiuto ed una di proseguimento delle prove. Il collaudo viene troncato o in corrispondenza di un numero massimo n_M di pezzi esaminati o di un numero massimo d_X di difettosi trovati. (A) *segue cap. 5*

4.4. Rodaggio. — È un'altra tecnica per l'eliminazione dei guasti precoci in un apparecchiatura, consistente nel farla funzionare in condizioni d'impiego di solito nominali, prima della sua destinazione definitiva, per un periodo di tempo durante il quale ci si può attendere guasti precoci per le parti componenti.

4.5. Manutenzione. — È la combinazione di tutte le azioni tecniche, e di quelle amministrative corrispondenti, aventi lo scopo di conservare o di ripristinare un dispositivo nelle condizioni nelle quali esso può adempiere alle funzioni richieste. Si distinguono due tipi: a) *manutenzione correttiva*, quella che viene effettuata dopo la comparsa di un guasto ed intesa a ripristinare le condizioni di funzionamento iniziali; b) *manutenzione preventiva*, quella effettuata prima della comparsa di un guasto, ad intervalli prestabiliti, o corrispondenti a criteri prescritti, ed intesa a ridurre la probabilità di guasto. Mentre col primo metodo il tasso di guasto tende nel tempo a portarsi ad un valore minimo pari all'inverso della vita media dei componenti, $\lambda_c = 1/\tau$ (vd. par. 2.3.2), nel secondo caso esso mantiene approssimativamente il valore $\lambda_p \ll \lambda_c$ del periodo dei guasti casuali dei componenti dell'apparecchio (a condizione di impiegare componenti setacciati o rodati, che quindi abbiano già superato il periodo dei guasti precoci). Inoltre la man. prev. può essere programmata in maniera più opportuna e si riduce perciò il valore di MTTR.

5. - PROVE DI AFFIDABILITÀ

5.1. Prove di vita.

5.1.1. Prove di lunga durata. — Prove che tendono a riprodurre in laboratorio le condizioni effettive di lavoro che un dispositivo incontrerà in esercizio. Generalmente si sottopone il dispositivo a sollecitazioni elettriche ed ambientali costanti nel tempo e uguali ai suoi valori nominali. Sono attuate più frequentemente su campioni di componenti elementari per determinare i valori statistici dei parametri di affidabilità (λ , MTTF, τ , ecc.), ma si possono applicare anche, con metodologie diverse, ad un apparato per misurare il suo MTBF. Richiedono un impegno di tempo e di mezzi che può risultare economicamente assai oneroso e forniscono risultati attendibili solo in tempi relativamente lunghi.

5.1.2. Prove accelerate. — Prove di laboratorio che applicano ad un dispositivo sollecitazioni elettriche ed ambientali costanti nel tempo ma alquanto superiori ai suoi valori nominali, mettendo così in evidenza i fenomeni di guasto in tempi assai più brevi di quelli usuali. Risultano più economiche delle prove di lunga durata, ma i parametri statistici da esse ricavati possono essere usati quasi esclusivamente per confronti qualitativi tra dispositivi similari e difficilmente possono essere estrapolati per ricavare i corrispondenti valori relativi alle condizioni di esercizio.

5.1.3. Prove a gradino. — Prove di laboratorio consistenti nell'applicare ad un campione di componenti una sollecitazione crescente per incrementi costanti, ognuno della stessa durata, e nel rilevare, al termine di ogni intervallo, il numero di elementi guasti (fig. 14). La sollecitazione può essere elettrica o ambientale (di solito la temperatura) o, più raramente, una combinazione di queste due. Sono prove attuabili su campioni molto piccoli (poche decine di

pezzi) e forniscono, in tempi assai brevi (poche centinaia di ore), risultati molto utili, quali le massime sollecitazioni applicabili al tipo di componente esaminato e eventuali molteplicità dei meccanismi di guasto.

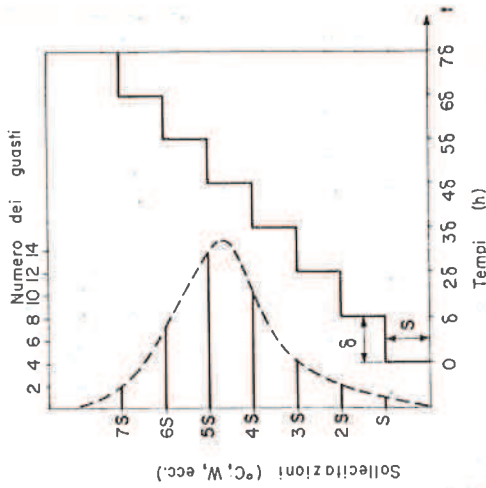


Fig. 14. — Prova di vita a gradino.

In Tab. V sono indicate le prove di più frequente applicazione.

5.2.1. Categoria climatica. — Indica i gradi di severità delle tre prove climatiche più importanti, e cioè freddo (A), caldo secco (B), caldo umido prolungato (C); è rappresentata mediante i tre valori corrispondenti. Ad es. la cat. clim. 40/125/21 sta a significare che il componente è stato sottoposto alla prova A con -40°C , alla prova B con $+125^{\circ}\text{C}$ e alla prova C per 21 giorni.

5.2.2. Sequenza delle prove. — Le norme particolari, relative a ciascun componente, indicano l'elenco di tutte le prove elettriche ed ambientali alle quali un campione del componente esaminato deve essere sottoposto durante il collaudo. Generalmente il campione viene suddiviso in un certo numero di sottogruppi, ciascuno dei quali viene sottoposto ad un certo numero di prove aventi tra loro un'affinità logica in relazione alle caratteristiche costruttive del componente. La tabella delle prove indica inoltre le misure preliminari e finali che devono essere eseguite su ciascun sottogruppo prima e dopo ciascuna prova, nonché i requisiti che devono essere soddisfatti per ritenere la prova superata positivamente. Il numero delle prove è generalmente diverso secondo che si tratti di prove di tipo, di accettazione o di mantenimento.

5.3. Prove di verifica dell'affidabilità. — Hanno lo scopo di verificare, entro prestabiliti livelli di confidenza, uno o più parametri affidabilistici fissati contrattualmente per un apparato. Generalmente fanno riferimento al valore di MTBF e seguono piani di prova normalizzati (quali quelli della Pubblicazione IEC 605-2 o della MIL-STD 781), che definiscono le sollecitazioni elet-

TAB. V. — PROVE AMBIENTALI

Prova A	— Freddo: Aa — per oggetti che non dissipano calore, cambio rapido di temp. Ab — per oggetti che non dissipano calore, cambio graduale di temp. Ad — per oggetti che dissipano calore, cambio graduale di temp.
Prova B	— Caldo secco: Ba — per oggetti che non dissipano calore, cambio rapido di temp. Bb — per oggetti che non dissipano calore, cambio graduale di temp. Bc — per oggetti che dissipano calore, cambio rapido di temp. Bd — per oggetti che dissipano calore, cambio graduale di temp.
Prova C	— Caldo umido continuo
Prova D	— Caldo umido accelerato
Prova F	— Vibrazioni: Fc — vibrazioni sinusoidali Fd — vibrazioni aleatorie (a larga banda)
Prova G	— Accelerazione costante
Prova E	— Accelerazione non costante: Ea — Urti Eb — Scosse Ec — Caduta e ribaltamento Ed — Caduta libera
Prova J	— Muffa
Prova Ka	— Nebbia salina
Prova M	— Bassa pressione atmosferica
Prova N	— Cambi di temperatura
Prova Q	— Ermeticità: Qa — Ermeticità di alberi, ecc. (prova ordinaria) Qb — " " " (prova rinforzata) Qc — Ermeticità dei contenitori, fuga di gas Qd — Ermeticità dei contenitori, fuoriuscita di liquidi Qe — Ermeticità dei contenitori, penetrazione di liquidi Qf — Immersione Qg — Pioggia guidata Qk — Metodo dello spettrometro di massa Ql — Prova di pressione a bomba
Prova T	— Saldatura: Ta-I — Saldabilità dei terminali Ta-II — Saldabilità delle piastre dei circuiti stampati Tb — Resistenza al calore
Prova U	— Robustezza dei terminali: Ua ₁ — Trazione Ua ₂ — Compressione Ub — Piegatura Uc — Torsione Ud — Coppia torcente

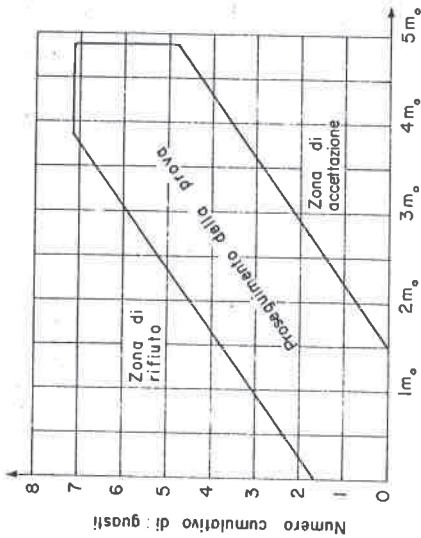
Tempo di prova (in multipli dello specificato $MTBF=m_0$)

Fig. 15. — Prova di verifica dell'affidabilità.

triche ed ambientali, la durata della dimostrazione e i criteri di accettazione e di rifiuto (fig. 15).

5.4. Carte di controllo. — Hanno lo scopo di linearizzare la funzione cumulativa di determinate distribuzioni statistiche, così da facilitare la verifica della rispondenza o meno dei risultati delle prove di vita alla distribuzione ipotizzata.

5.4.1. Distribuzione di Weibull. $f(t)$

— È la distribuzione più frequentemente usata nelle prove di vita perché in grado di rappresentare, in forma unitaria, i tre periodi di vita di un componente, individuati dalla curva a vasca da bagno (vd. fig. 6).

Funzione cumulativa: $F(t) = 1 - e^{-t/\alpha}^\beta$

Affidabilità: $R(t) = 1 - F(t) = e^{-t/\alpha}^\beta$

Funzione di distribuzione: $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-t/\alpha}^\beta$

α = parametro di scala

β = parametro di forma $\begin{cases} < 1, & \text{guasti precoci} \\ = 1, & \text{casuali (fig. 16)} \\ > 1, & \text{per usura} \end{cases}$

La $F(t)$ può essere linearizzata attraverso un duplice passaggio ai logaritmi naturali dell'inverso del completamento a 1 di $F(t)$ (fig. 17). Nei diagrammi impiegati per rappresentare i risultati delle prove di vita, questa nuova variabile (Y) viene usualmente riportata in ordinata, mentre in ascissa si riportano i log. nat. dei tempi di guasto (X). Il parametro di scala si legge sull'ascissa corrispondente all'ordinata $F(t) = 63,21\%$ (corrispondente a $X = 0$). Il fattore

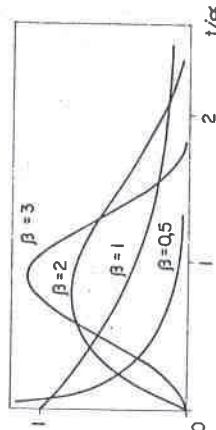


Fig. 16. — Distribuzione di Weibull.