



FAUSTO GALETTO

# **Affidabilità per la manutenzione. Manutenzione per la disponibilità**

Casi reali: metodi pratici e scientifici  
per prevenire i problemi

tab edizioni

© 2022 Gruppo editoriale Tab s.r.l.  
viale Manzoni 24/c  
00185 Roma  
[www.tabedizioni.it](http://www.tabedizioni.it)

Prima edizione maggio 2022  
ISBN 978-88-9295-435-9

Stampato da The Factory s.r.l.  
via Tiburtina 912  
00156 Roma  
per conto del Gruppo editoriale Tab s.r.l.

È vietata la riproduzione, anche parziale,  
con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la  
fotocopia, senza l'autorizzazione dell'editore.  
Tutti i diritti sono riservati.

*Alla mia famiglia,  
che mi ha sempre supportato durante il mio lavoro.*

*Ai miei studenti,  
che hanno ricordato le mie idee passionatamente sulla Qualità  
e mi hanno inviato il seguente documento:*

«Carissimo Ingegnere,

nel numero di oggi (2-10-2004) in allegato a “La Stampa” compare una lettera aperta che Tullio Regge rivolge ai giovani. Gliene inviamo un estratto che ci ha fatto ricordare le sue lezioni del corso di gestione industriale della qualità. Citiamo testualmente:

“Vorrei che si sviluppasse in voi giovani il senso critico,  
ossia la capacità di valutare le cose per quelle che sono,  
senza filtri demagogici o dogmatismi di sorta,  
avendo il coraggio, se necessario,  
di dubitare anche di quello che tutti gli altri sembrano ritenere ovvio.  
Significa anche saper giudicare a partire dai fatti,  
e non lasciarsi fuorviare dalle idee degli altri senza averle prima fatte nostre,  
né permettere che le nostre si irrigidiscano.  
Significa documentarsi, andare instancabilmente alla ricerca di conferme,  
saper cambiare idea e riconoscere i propri errori.  
È quanto di meglio la scienza ed il metodo scientifico mi abbiano mai insegnato.  
Spero che possa insegnarlo anche a voi.  
Prima ancora di abbracciare la nobile causa dell'ambientalismo,  
dovremmo forse pensare ad una ecologia della mente,  
sbarazzarci dei pregiudizi, tornare al dialogo aperto e costruttivo.  
Non abbiate paura di dubitare e di criticare tutto ciò che non vi convince a fondo.  
Abbiate la forza ed il coraggio di sostenere le vostre idee,  
anche se vi sembrano impopolari, anche quando non vi sentite appoggiati.  
La forza della ragione è in ciascuno di voi.  
È questa la scienza che voglio provare ad insegnarvi:  
quella mossa dal ragionamento critico,  
lo stesso che già due secoli fa insegnavano gli illuministi  
e dopo di loro il grande filosofo Kant e che riassumerei così:  
pensate con la vostra testa”.

Metodo scientifico, documentarsi, sbarazzarci dei pregiudizi, coraggio di criticare, sostenere le proprie idee... non so a Lei, ma a noi, queste cose suscitano più di un ricordo. Saluti e buon lavoro».

*Fausto Galetto*

# Intellectual hOnesty

Qualitatem



DOCERE

# Gedanken Experimente

# Indice

- p. 13 Prefazione
- 29 Capitolo 1  
*Affidabilità, disponibilità, manutenibilità, sicurezza RAMS nello sviluppo e nell'uso dei prodotti*
- 1.1. Premessa, 29
  - 1.2. Introduzione, 32
  - 1.3. Il ciclo di vita dei prodotti, la competitività, le aree-chiave, 34
  - 1.4. Il ciclo di sviluppo del prodotto e le sue fasi, con le aree-chiave, 47
  - 1.5. Prevenzione ed azioni correttive, 56
  - 1.6. La qualità comincia dal management, 62
  - 1.7. Le attività durante lo sviluppo del prodotto, 72
  - 1.8. Alcuni elementi conclusivi, 73
- 85 Capitolo 2  
*I concetti fondamentali su affidabilità, manutenibilità, disponibilità*
- 2.1. Premessa, 85
  - 2.2. Introduzione, 85
  - 2.3. Il concetto "affidabilità", 87
- 139 Capitolo 3  
*Affidabilità e manutenibilità dei sistemi. Modelli di affidabilità (dei sistemi non riparabili) e di manutenibilità*
- 3.1. Premessa, 139

- 3.2. Introduzione, 139
- 3.3. Modelli probabilistici dell'affidabilità, per i sistemi non-riparabili, 140
- 3.4. Modelli probabilistici della manutenibilità, 163
  
- p. 165    **Capitolo 4**  
*Affidabilità dei sistemi. Alcuni metodi per il calcolo della affidabilità dei sistemi non riparabili e riparabili*
  - 4.1. Premessa, 165
  - 4.2. Introduzione, 165
  - 4.3. Affidabilità dei sistemi: concetti generali, 166
  - 4.4. Affidabilità dei sistemi non-riparabili, 168
  - 4.5. Affidabilità dei sistemi “ridondanti” non-riparabili, 174
  - 4.6. Affidabilità dei sistemi riparabili, affidabilità estese, numero medio dei guasti, 195
  - 4.7. Disponibilità dei sistemi riparabili, affidabilità estese, numero medio dei guasti – Prima parte, riferita ad una unità singola, 202
  - 4.8. Affidabilità dei sistemi riparabili, 214
  - 4.9. I modelli usati per l'affidabilità dei sistemi riparabili, 220
  
- 233    **Capitolo 5**  
*Disponibilità dei sistemi*
  - 5.1. Premessa, 233
  - 5.2. Introduzione, 233
  - 5.3. Disponibilità dei sistemi: concetti generali, 234
  - 5.4. Disponibilità dei sistemi riparabili; sistemi serie, parallelo, stand-by di due unità, 239
  - 5.5. Disponibilità e affidabilità dei sistemi riparabili. MUT, MDT, MTBF, 245
  - 5.6. Disponibilità in presenza di “componenti testati” (“dormant failures”), 256
  - 5.7. Disponibilità di “un sistema spaziale”, 260
  - 5.8. Disponibilità di un singolo componente riparabile, 264
  
- 285    **Capitolo 6**  
*Affidabilità e disponibilità dei sistemi*
  - 6.1. Premessa, 285
  - 6.2. Introduzione, 285

- 6.3. FTA: concetti generali, 286
- 6.4. FTA: esempi iniziali di “warning”, 289
- 6.5. FTA: esempi più complessi, 294
- 6.6. FTA di un parallelo a guasti dipendenti, 296
- 6.7. FTA dell'impianto di raffreddamento di un reattore (di processo), 297
- 6.8. FTA e Cut Sets, 299
- 6.9. FTA, Cut Sets, e disponibilità, numero medio dei guasti, affidabilità, 301
- 6.10. Che cosa abbiamo imparato?, 307

p. 311    **Capitolo 7**  
*Manutenzione basata sull'affidabilità*

- 7.1. Premessa, 311
- 7.2. Introduzione, 311
- 7.3. Manutenzione: concetti generali, 312
- 7.4. RCM: esempi iniziali di “warning”, 316
- 7.5. La sostituzione preventiva dei componenti soggetti ad usura, 321
- 7.6. Analisi dei problemi generati dalla Expected Cycle Length, 336
- 7.7. Politiche ispettive, 348
- 7.8. Che cosa abbiamo imparato?, 356

359    **Capitolo 8**  
*Gestione dei ricambi basata sull'affidabilità*

- 8.1. Premessa, 359
- 8.2. Introduzione, 360
- 8.3. Gestione dei ricambi: concetti generali, 360
- 8.4. RCSSM: metodi di previsione della “domanda” di ricambi, 363
- 8.5. Il modello di Poisson “omogeneo” per la previsione dei ricambi, 365
- 8.6. Il modello di non-Poisson per la previsione dei ricambi, 367
- 8.7. Il modello “binomiale” per la previsione dei ricambi [tasso di guasto costante], 368
- 8.8. Il modello “binomiale” per la previsione dei ricambi, con affidabilità Weibull, 379
- 8.9. Che cosa abbiamo imparato?, 387

- p. 409    Capitolo 9  
*Analisi dei dati di affidabilità*
- 9.1. Premessa, 409
  - 9.2. Introduzione, 410
  - 9.3. Analisi dei dati di affidabilità: concetti generali, 412
  - 9.4. Stime e stimatori, 416
  - 9.5. Stime per intervalli, 419
  - 9.6. Metodi per la stima, 427
  - 9.7. Stime e stimatori nel caso esponenziale, 432
  - 9.8. Intervalli di fiducia nel caso esponenziale, 436
  - 9.9. Stime e stimatori nel caso Weibull con  $b$  noto, 444
  - 9.10. Intervalli di fiducia nel caso Weibull con  $b$  noto, 447
  - 9.11. Stimatori, stime ed intervalli di fiducia degli altri parametri, 455
  - 9.12. Stimatori, stime ed intervalli di fiducia per la distribuzione di Weibull con  $\beta$  e  $\eta$  incogniti, 455
  - 9.13. Coefficienti per gli intervalli di fiducia per la distribuzione di Weibull con  $\beta$  e  $\eta$  incogniti, 465
  - 9.14. Cosa ci dicono gli esperti?, 466
  - 9.15. Cosa ancora ci dicono gli esperti?, 472
  - 9.16. Ignoranza degli “esperti” sulle T Charts, 486
  - 9.17. Che cosa abbiamo imparato dagli esperti?, 489
  - 9.18. Che cosa abbiamo imparato in questo capitolo?, 490
- 493    Capitolo 10  
*Manutenzione ed affidabilità. La prevenzione (durante lo sviluppo dei prodotti e dei processi). Due tecniche: FMECA e DOE*
- 10.1. Premessa, 493
  - 10.2. Introduzione, 494
  - 10.3. Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti: FMECA, 497
  - 10.4. Il DOE (Design Of Experiments), 507
- 543    Tabelle
- Tabella dei percentili “chi-quadro”, 544
  - Tabella dei percentili “F”, con livelli di significatività 1%, 5%, 10%, 545
  - Tabella dei percentili “Beta” [area a sinistra 5%], 546

Tabella dei percentili “Beta” [area a sinistra 95%], 546

Tabella “Median Ranks” [area a sinistra 50%], 547

Tabella dei coefficienti  $K_i$  e  $K_s$  per l'intervallo di fiducia [distribuzione esponenziale], 547

Tabella dei coefficienti per calcolare l'intervallo di fiducia di  $\beta$  [per la distribuzione di Weibull], 548

p. 549 Bibliografia

## Prefazione

Molte aziende negli ultimi anni hanno scoperto che i clienti non erano disposti ad acquistare prodotti e servizi non affidabili. La crisi di una grande azienda nazionale, infatti, deriva dall'inaffidabilità dei suoi prodotti, oltre che dalla scarsa affidabilità dei suoi manager. La causa? La mancanza di prevenzione dei problemi, sia riferita ai manager sia ai prodotti.

Mi sono pertanto proposto di condensare in un libro i concetti e i metodi fondamentali da utilizzare per “progettare” e “misurare” l'affidabilità – durante lo sviluppo dei prodotti e sul campo – al fine di prevenire i problemi e gestire la prevenzione.

Poiché i sistemi in uso (automobili, autocarri, elettrodomestici, impianti di produzione, reti telefoniche, reti di distribuzione energia...) sono sistemi riparabili, occorre che le aziende ed i loro manager comprendano i concetti fondamentali sull'affidabilità e la disponibilità dei sistemi riparabili; inoltre la riparabilità impone che si debba pensare alla manutenzione (preventiva, correttiva, on condition...) ed alla gestione dei ricambi. L'unico modo davvero efficace e corretto per farlo è analizzare correttamente i dati di affidabilità e di manutenibilità.

Questo libro nasce con l'intento di raccogliere tutte queste idee per evitare che studenti universitari, studiosi, professori e manager aziendali siano fuorviati da alcuni libri in uso, che contengono informazioni marginali e inadeguate oppure idee e metodi sbagliati.

La spinta è arrivata proprio dalla consultazione di un libro molto usato al Politecnico di Torino, che tuttavia contiene inesattezze ed errori. Questo ed altri libri, molti dei quali in inglese, verranno presi come spunto di analisi per comprendere quanto sia facile incorrere in errate informazioni se non si usa l'intelligenza ed il metodo scientifico.

Prendere decisioni (decision-making) è una attività che riguarda tutti, sia coloro che devono prenderle in prima persona, dopo avere eseguito analisi serie o non-serie sulla decisione stessa e sulle sue conseguenze, sia coloro che poi dovranno “subire” la decisione presa da altri.

Un esempio di tale situazione è proprio quello che è successo e sta succedendo attualmente con la pandemia globale da Covid-19; questo è un magnifico esempio di mancanza di prevenzione e di analisi non scientifiche: nei primi momenti gli “esperti” affermavano che era poco più di una semplice influenza... poi era diventato una pandemia contagiosa e letale... infine (11 maggio 2020) che dovrebbe sparire anche senza vaccino... non hanno applicato nessuna delle idee proposte in questo e altri libri. Alcune aziende farmaceutiche sono riuscite a sviluppare dei vaccini, che dovrebbero risolvere il problema. Varie persone, tra cui anche medici ed infermieri, non sono propensi a vaccinarsi: un grande segno di ignoranza. Siamo a marzo 2021 (altro lockdown) con il vaccino AstraZeneca “sotto analisi”... Gli ignoranti non sanno come analizzare i dati e prendere le decisioni conseguenti. Pertanto è importante sapere elaborare ed analizzare i dati sui fenomeni che capitano.

Per decidere si ha bisogno di dati, raccolti seriamente, cioè sulla base di un metodo scientifico; i dati devono essere analizzati scientificamente e tenere conto delle conseguenze delle analisi e delle decisioni. Purtroppo tutti i dati sono soggetti a variabilità, che deve essere tenuta sempre in considerazione: i dati cambiano di ora in ora, perciò i decisori (*decision makers*) devono considerare adeguatamente la loro variabilità nelle analisi da eseguire; devono cioè prendere decisioni in condizioni di incertezza (*decision-making under uncertainty*). Quante volte, durante il periodo della pandemia, avete sentito “oggi la situazione è peggiorata” oppure “oggi la situazione è migliorata”, quando in realtà avrebbero dovuto dire “a causa della variabilità sempre presente nei fenomeni non possiamo fare nessuna affermazione sensata (*sensible*, in inglese)”.

Vedremo vari casi in cui le decisioni prese sono state sbagliate a causa di metodi “sbagliati” (non-scientifici) e presenteremo il modo corretto (scientifico) di analizzare i dati e di prendere le decisioni.