

statistico di qualità, alle analisi di mercato, al processo di decisione a tutti i livelli.

### 11.3 I sette strumenti

Nel contesto industriale giapponese, nell'ambito dell'addestramento alla risoluzione dei problemi qualitativi, tutto il personale viene messo in condizione di utilizzare gli strumenti statistici di base. Oltre e più che gli strumenti, tuttavia, sono importanti i criteri su cui poggia la metodologia, criteri che sono riassunti nei punti seguenti e che, tutto sommato, si possono ricondurre, pur con caratterizzazione diversa, al Plan-Do-Check-Action di Deming:

- analizzare i fatti per estrarne i dati;
- parlare e agire solo attraverso i dati;
- scegliere i metodi di rappresentazione in funzione degli obiettivi;
- concentrarsi sugli aspetti più importanti;
- stabilire le relazioni tra i dati per determinare le cause;
- intraprendere azioni in conformità alle cause trovate e valutarne gli effetti collaterali;
- valutare la conformità tra azione e informazione.

La metodologia utilizza sette strumenti di base, per la maggior parte mutuati dalla statistica e di tipo sia descrittivo che di ricerca e valutazione, ed è pertanto conosciuta sotto il nome di "seven tools". Sei di questi strumenti hanno avuto origine in occidente, dove però venivano utilizzati solamente dagli addetti ai lavori (controllo di qualità) nei propri campi specialistici di attività.

I sette strumenti sono:

- foglio raccolta dati;
- istogramma;
- diagrammi di correlazione;
- carte di controllo;
- analisi di Pareto;
- diagramma causa-effetto;
- stratificazione.

Tutti questi strumenti, tranne il primo, utilizzano modi di rappresentazione grafica che, sintetizzando grosse quantità di dati e comunicandoli in una forma immediata, facilitano la comprensione dei fenomeni in esame. Dal punto di vista dell'efficacia della comunicazione un "buon" grafico vale molte pagine scritte.

Nel seguito di questo paragrafo verrà data una breve descrizione dei sette strumenti finalizzata alla sua applicazione in azienda da parte dei non specialisti.

#### *Foglio raccolta dati*

Il primo passo dell'informazione è la raccolta organica e finalizzata dei dati: stabilito il fenomeno da studiare, se ne individuano le caratteristiche, si identificano i dati da raccogliere, si sceglie la dimensione del campione e si registra il risultato dell'osservazione di queste caratteristiche sugli appositi fogli

di raccolta. La registrazione deve avere una struttura chiara che permetta una facile lettura dei dati rilevati e un'efficace e economica elaborazione nelle fasi successive.

I dati che possono essere raccolti appartengono di solito a una delle seguenti categorie:

- dati di misura (continui), quali, per esempio, lunghezza, diametro, peso, resistenza elettrica, carico di rottura ecc.;
- dati numerabili (discreti) quali, per esempio, numero di difetti, numero di unità difettose, percentuale di difettosità ecc.;
- dati su giudizi di merito relativo;
- dati derivanti da ordinazioni in sequenza;
- dati derivanti da scale di punteggio.

Di queste, le ultime tre sono relative a dati non direttamente quantizzabili con strumenti di misura o attraverso enumerazioni.

La rilevazione dei dati è l'operazione sulla quale poggia tutto il sistema informativo: senza dati non c'è informazione, ma solo sensazione, e senza dati obiettivi e corretti non c'è buona informazione. Per tale motivo tutto il personale, ma soprattutto quello operativo e vicino alla realtà quotidiana, dal quale dipende il grosso della raccolta dei dati, deve essere sensibilizzato all'importanza di questa fase operativa.

I punti principali da tenere presenti nella raccolta sono:

- lo scopo della raccolta deve essere definito (esempi possono essere l'analisi della distribuzione di una grandezza misurata su un campione, frequenza di prodotti difettosi in un campione, numero di difetti per pezzo, localizzazione dei difetti, tipologie dei difetti, quota di mercato di un dato prodotto, ecc.);
- il metodo di registrazione dei dati deve essere il più possibile a prova di errore e i dati stessi completi (spesso è necessario ideare fogli di raccolta ad hoc);
- i dati devono essere registrati in una forma che permetta comode aggregazioni e disaggregazioni e altre elaborazioni successive;
- la discussione dei problemi e le eventuali azioni susseguenti devono essere basate solo sui dati.

Spesso il foglio raccolta dati è di tipo semplice e si limita, per esempio a riportare il risultato di un'operazione di misura. Nelle figg. 11.1 e 11.2 sono presentati, invece, due esempi di fogli di registrazione complessi. Il primo di essi integra la raccolta con una rappresentazione sintetica delle caratteristiche del fenomeno che anticipa lo strumento successivo (istogramma), mentre il secondo è particolarmente adatto in quei casi in cui occorre una localizzazione precisa dei difetti che emergono in un processo produttivo.

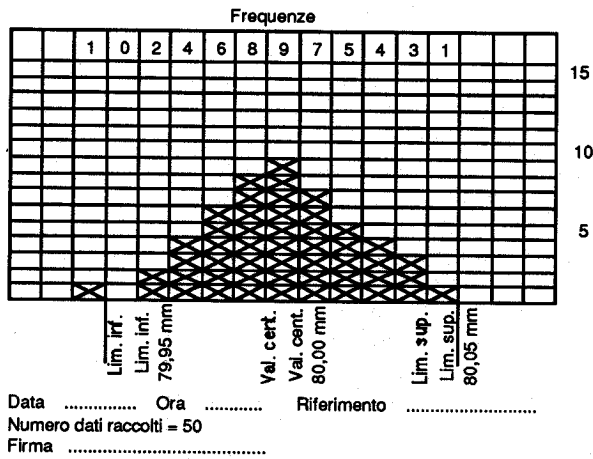


Fig. 11.1 - Esempio di foglio raccolta dati per l'analisi della distribuzione di un processo produttivo

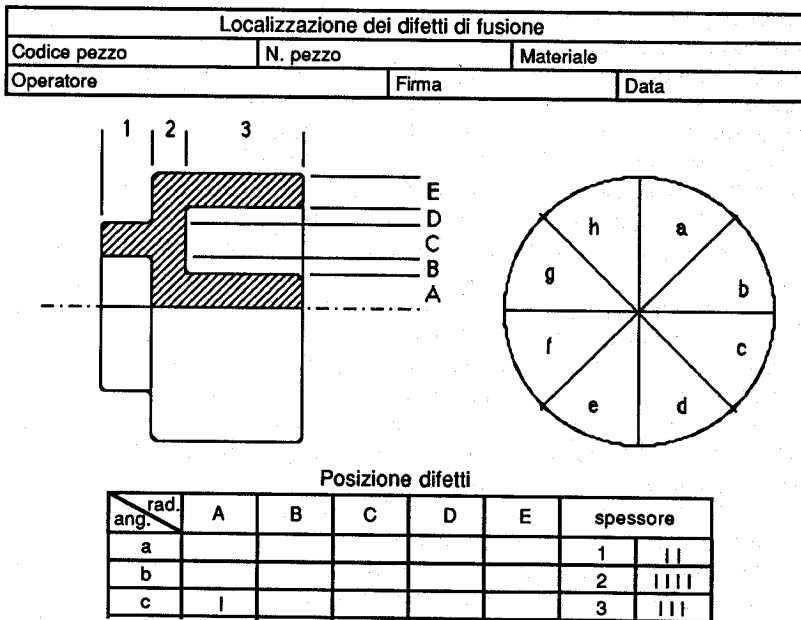


Fig. 11.2 - Esempio di foglio raccolta dati per posizione di difetto

## Istogramma

L'istogramma è una tecnica di rappresentazione grafica dei dati che associa ad ogni classe (o intervallo o categoria) in cui è diviso il valore della variabile osservata la sua frequenza; nella sua forma più semplice le classi sono rappresentate attraverso rettangoli di egual base (tutte le classi hanno la stessa ampiezza) e altezze proporzionali alle frequenze.

L'andamento del fenomeno in esame e la valutazione del peso di ogni classe appaiono immediati e si possono fare considerazioni di tipo qualitativo sulla dispersione. Inoltre, se si aggiungono al tracciato dell'istogramma i limiti superiore e inferiore del fenomeno si può confrontarne l'andamento con i vincoli predisposti oppure con le previsioni. In tal modo l'esame dell'istogramma permette di dare velocemente una risposta a domande del tipo:

- qual è la forma della distribuzione dei valori della variabile sotto esame?
- come stanno questi valori in rapporto a quanto previsto o richiesto?

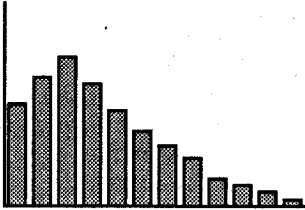
Affinché l'istogramma abbia la massima rappresentatività devono essere rispettate alcune regole, sia basate sui principi statistici che pratiche, tra cui le più importanti sono:

- dividere i dati in modo che il numero di classi sia compreso tra 5 e 20;
- preparare una tabella delle frequenze delle classi;
- mantenere il rapporto tra altezza e larghezza del grafico tra 0,5 e 2, per avere una buona leggibilità;
- segnare con una linea la media e, se esistono, i limiti di specifica;
- aggiungere una legenda che riporti tutte le notizie di interesse, come descrizione del tipo di dati, periodo di raccolta, numero dei dati raccolti, media e dispersione, limiti di specifica, ecc..

La media e la dispersione si possono calcolare direttamente dai dati raccolti, oppure, soprattutto quando essi sono molto numerosi, a partire dalla tabella delle frequenze usata per costruire l'istogramma. In questo caso si attribuisce a ogni dato non il suo valore reale, ma quello corrispondente al punto centrale della classe di appartenenza. In tal modo si ottiene un valore approssimato, tanto più vicino al valore reale quanto più i dati sono numerosi.

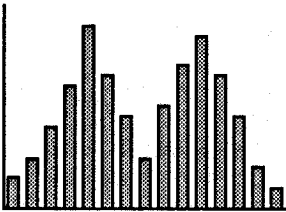
Il passo successivo è l'interpretazione della forma e dei valori dell'istogramma. L'aspetto più comune dell'istogramma quando la variabile in esame ha un comportamento corretto è una forma a campana come quella di fig. 11.1: il valor medio della variabile osservata si trova in posizione centrale rispetto ai dati e appartiene alla classe di frequenza massima, la frequenza diminuisce simmetricamente verso le estremità. In fig. 11.3 sono riportate, invece, alcune forme anomale tipiche di istogramma e le relative interpretazioni.

I programmi di grafica gestionale, oggi disponibili sui calcolatori personali, rendono particolarmente comoda e flessibile la preparazione degli istogrammi e di altri tipi di diagrammi usati per rappresentare graficamente i dati (diagrammi a torta, diagrammi areali, ecc.).



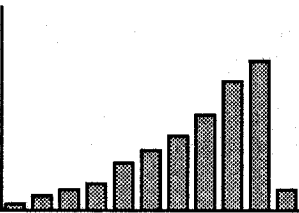
### Asimmetrico

- errori di campionamento o misura
- effetti di selezione
- sovrapposizione di dati non omogenei (stratificare)



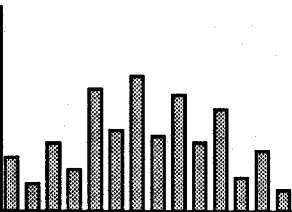
### Bimodale

- cercare le cause della non omogeneità dei dati (stratificazione, diagramma causa effetto)



### A precipizio

- errori di misura
- valori falsati



### A pettine

- errore di arrotondamento
- troppe classi

Fig. 11.3 - Esempi di istogrammi e relativa interpretazione

### *Diagramma di correlazione*

I diagrammi di correlazione vengono adoperati allo scopo di indagare l'eventuale dipendenza tra una caratteristica e l'altra e in particolare quando si vuole ricercare una relazione tra una condizione e le possibili cause. Essi costituiscono il primo passo dell'indagine e forniscono risultati solo di tipo qualitativo. Per ottenere dati quantitativi bisogna ricorrere alle tecniche analitiche di regressione; queste, comunque, non dovrebbero mai essere utilizzate da sole, ma essere sempre precedute da un'analisi dei dati attraverso il diagramma.

La costruzione del diagramma passa attraverso le seguenti fasi:

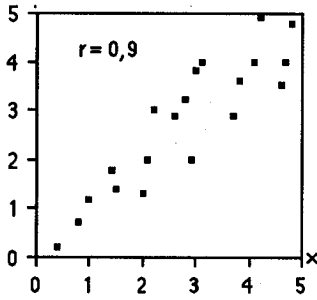
- individuare le variabili di cui si vuole indagare la correlazione;
- raccogliere almeno 30 coppie di dati, in modo da ridurre l'incertezza statistica sui risultati;
- fissare le unità di misura degli assi in modo che le lunghezze siano uguali, in modo che l'esistenza di correlazione conduca a un andamento prossimo alla diagonale;
- se si indaga la relazione tra una causa e una condizione, mettere la causa sull'asse delle  $x$ ;
- disegnare il diagramma riportando i punti corrispondenti ai valori dei dati;
- inserire una legenda che contenga tutte le notizie di interesse, come descrizione del diagramma, periodo di raccolta dei dati, numero dei dati raccolti, media e deviazione standard di ognuna delle due grandezze, ecc..

Il procedimento delineato produce un diagramma "sparso" (scatter diagram), il cui aspetto si può ricondurre a uno degli andamenti caratteristici seguenti (fig. 11.4):

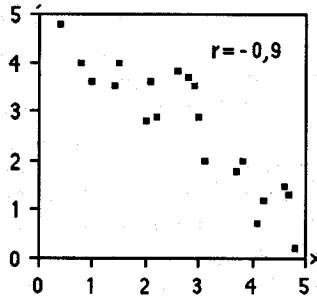
- correlazione lineare positiva: i punti si dispongono approssimativamente su una retta con andamento crescente e la correlazione è tanto più forte quanto più l'insieme dei punti è vicino alla retta;
- correlazione lineare negativa: i punti si dispongono approssimativamente su una retta con andamento decrescente e la correlazione è tanto più forte quanto più l'insieme dei punti è vicino alla retta;
- possibile correlazione lineare positiva: al crescere di  $x$  anche  $y$  cresce, ma sembra che ci siano per  $y$  cause aggiuntive alla  $x$ ;
- possibile correlazione lineare negativa: al crescere di  $x$   $y$  decresce, ma sembra che ci siano per  $y$  cause aggiuntive alla  $x$ ;
- nessuna correlazione: i punti sono disposti a caso, senza nessun andamento preferenziale;
- nessuna correlazione lineare: i punti si dispongono approssimativamente su una linea diversa dalla retta.

In caso di necessità è possibile calcolare con metodi analitici quanto forte sia il legame tra le due grandezze e valutare dipendenze di tipo più complesso di quello lineare. Una misura della intensità della correlazione tra le due grandezze è data, per esempio, dal coefficiente di correlazione  $r$ , che assume valori compresi tra  $-1$  e  $1$ : valori di  $r$  vicini a  $-1$  o a  $1$  significano forte correlazione tra le due

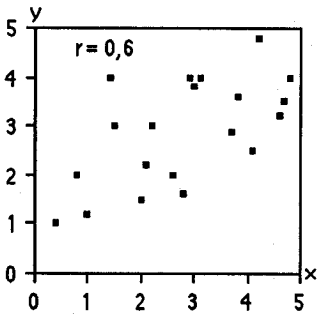
grandezze, mentre valori vicini a 0 sono indice di assenza di correlazione, o, in altri termini, del fatto che le grandezze in esame sono indipendenti.



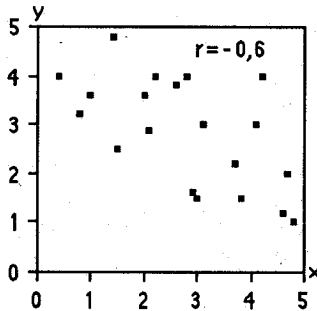
a) Correlazione positiva



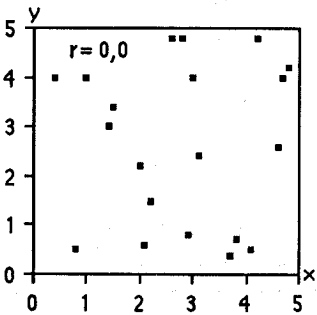
b) Correlazione negativa



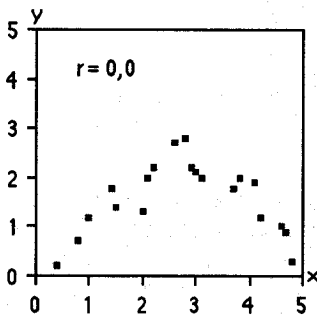
c) Possibile correlazione positiva



d) Possibile correlazione negativa



e) Nessuna correlazione



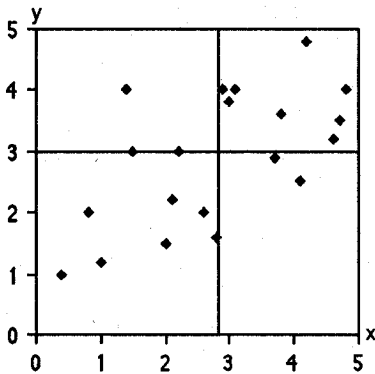
f) Nessuna correlazione lineare

Fig. 11.4 - Esempi di diagrammi di correlazione

Comunque, nell'ambito dei programmi di formazione statistica per il personale dei circoli della qualità e limitatamente alla correlazione lineare viene insegnato un metodo di valutazione della correlazione più semplice del calcolo del coefficiente di correlazione. Questo metodo, che evita qualunque tipo di operazione aritmetica che non sia l'addizione, è detto metodo delle mediane e fa uso della cosiddetta tavola del test del segno, che si costruisce a partire dalle leggi della probabilità e dalle distribuzioni statistiche.

La fig. 11.5 mostra l'applicazione del metodo delle mediane al caso c) di fig. 11.4; il procedimento è il seguente:

- disegnare sul diagramma una linea verticale tale che a sinistra e a destra di essa ci sia lo stesso numero di punti (mediana di x);
- disegnare sul diagramma una linea orizzontale tale che sopra e sotto a essa ci sia lo stesso numero di punti (mediana di y);
- contare il numero di punti in ogni quadrante e il numero di punti che cadono sulle linee;
- calcolare  $N = \text{numero totale di punti} - \text{punti sulle linee}$ ;



N	Valore limite
16	3
17	4
18	4
19	4
20	5
21	5
22	5
23	6
24	6
25	7

Fig. 11.5 - Esempio di applicazione del metodo delle mediane

- sommare il numero di punti dei quadranti opposti e scegliere il valore minore;
- confrontare il numero precedente col valore limite relativo a N riportato nella tavola del test del segno, riportata, in parte, nella stessa fig. 11.5; se il numero trovato è minore del valore limite c'è correlazione, come avviene per il caso in esame.

Se si vogliono studiare relazioni con più di due cause, bisogna ricorrere a metodi analitici di correlazione multipla. La grande diffusione di packages statistici per personal computer ne ha reso più facile l'applicazione anche ai non esperti.



### *Carte di controllo*

Le carte di controllo sono un metodo grafico che permette di studiare l'andamento dinamico di un fenomeno e sono mutate dal controllo qualità, che le ha adoperate e le adopererà per conseguire una serie di obiettivi, tra i quali:

- determinare il grado di controllo di un processo
- predire gli scarti
- valutare le prestazioni.

Lo strumento comunque si presta a un uso generale come supporto del sistema informativo, in quanto permette di sapere fino a che punto è sotto controllo qualsiasi attività aziendale di cui si voglia conoscere l'andamento nel tempo. La carta inoltre rappresenta un potente strumento di previsione e di pianificazione del miglioramento.

La carta si costruisce a partire dalla variabile che si vuole controllare, individuandone il valor medio e gli indici inferiore e superiore di scostamento massimo ammesso (limiti di controllo), che vengono segnati come righe orizzontali su un grafico dove si riportano i valori della variabile.

L'attività sotto esame è considerata in controllo quando si verificano ambedue le condizioni seguenti:

- tutti i punti sono all'interno dei limiti;
- i punti sono distribuiti in maniera casuale.

La valutazione della distribuzione dei punti viene fatta ricercando alcune configurazioni tipiche che, sulla base delle leggi della statistica, sono considerate estremamente improbabili e la cui presenza è perciò ritenuta segno di situazione fuori controllo. Le configurazioni anomale principali sono elencate di seguito e in fig. 11.6 vengono mostrati esempi di ognuna di esse.

- 1) sequenze - serie di punti sopra o sotto la linea centrale:  
una sequenza di 7 punti consecutivi è anomala, così come lo sono sequenze di 10 punti su 11, 12 punti su 14, 16 punti su 20.
- 2) tendenze - andamento crescente o decrescente:  
una tendenza di 7 punti è anomala.
- 3) vicinanza ai limiti di controllo:  
situazione anomala se 2 punti su 3, oppure 4 su 7, cadono nelle fasce comprese tra  $2/3$  dei limiti di controllo e i limiti stessi.
- 4) vicinanza alla linea centrale:  
situazione anomala se quasi tutti i punti stanno nella fascia compresa tra metà del limite di controllo inferiore e metà del limite di controllo superiore. Questo andamento può essere attribuito all'aver inserito nei campioni dati non omogenei, causando l'allargamento dei limiti

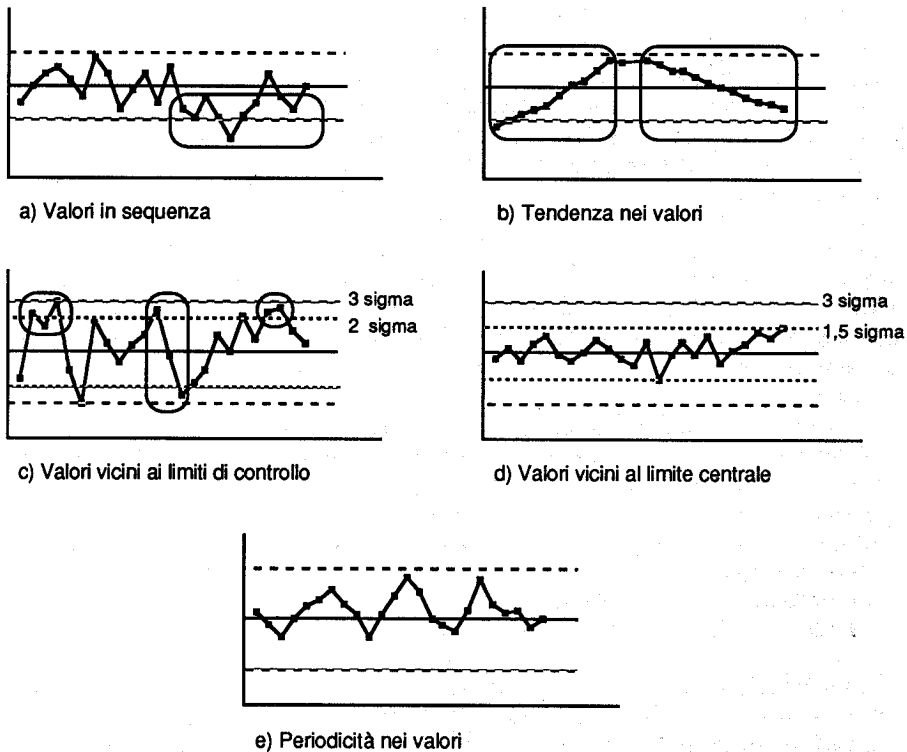


Fig. 11.6 - Esempi di condizioni anomale nelle carte di controllo

### 5) periodicità

l'andamento periodico dei punti è segno di anomalia.

Le carte di controllo si dividono in due tipi fondamentali a seconda della caratteristica da controllare:

- per variabili, in cui si rilevano grandezze continue  
 carte  $\langle x \rangle - R$  (mostrano contemporaneamente valor medio e range) e  $\langle x \rangle - \sigma$  (valor medio - standard deviation, meno usata, anche se più significativa, perché richiede il calcolo di  $\sigma$ , mentre  $R$  si misura direttamente);
- per attributi, in cui si rilevano grandezze discontinue (ad esempio il numero di pezzi difettosi in un campione)  
 carte  $p$  (percento di difettosità),  $np$  (numero di pezzi difettosi / numero di pezzi esaminati),  $u$  (numero di difetti per quantità non prefissata di prodotto) e  $c$  (numero di difetti per unità di prodotto).

Le carte sono usate in due differenti condizioni:

- standard non dato, quando il valore centrale e i limiti superiore e inferiore sono calcolati durante l'analisi, come durante la valutazione della capability di un processo;
- standard dato, quando il valore centrale e i limiti sono prefissati, come in una valutazione del grado di controllo di un processo.

Le carte di controllo citate sono quelle di uso più comune, perché danno una visione immediata dell'andamento del fenomeno da controllare; comunque esse possono dar luogo a falsi allarmi nel caso di un punto isolato fuori dai limiti previsti. Le cosiddette carte Cusum (Cumulative Sum), che tengono conto non solo del punto attuale, ma anche di tutti quelli precedenti, non presentano questo inconveniente e offrono contemporaneamente anche altri vantaggi. Il prezzo da pagare consiste in una minore immediatezza dell'informazione presentata, dal momento che per valutare l'andamento del fenomeno è necessario interpretare la pendenza del grafico. L'applicazione principale di questo tipo di carte si ha nel caso che sia importante scoprire piccoli cambiamenti nella media della grandezza controllata.

Il modo di costruire una carta Cusum verrà spiegato sulla base di un esempio. Supponiamo che l'operazione da controllare consista nell'esecuzione di una tornitura su un pezzo e che il valore nominale richiesto dalla specifica per il diametro sia  $80,0 \pm 0,1$  mm. Per ogni pezzo controllato si calcola la differenza tra diametro effettivo e valore nominale e si aggiunge questa differenza alla somma di tutte le differenze dei pezzi precedenti.

La fig. 11.7 mostra sia una carta di controllo convenzionale, che riporta il diametro in funzione del numero d'ordine del pezzo, che una carta Cusum costruita riportando, sempre a fronte del numero d'ordine del pezzo, i valori calcolati come detto in precedenza.

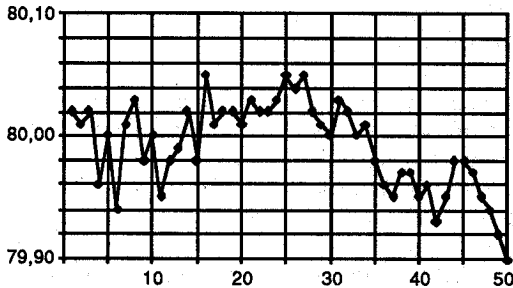
Di seguito sono sintetizzate alcune osservazioni derivanti dall'esame comparato delle due carte.

- 1) I primi venti punti, pur oscillando in modo rilevante sopra e sotto il valore nominale hanno un valor medio approssimativamente uguale al valore di specifica. Il grafico Cusum si mantiene prossimo a zero e non mostra tendenze sistematiche alla crescita o alla diminuzione.
- 2) Quando i valori sono sistematicamente superiori a quello nominale (punti 16+34) il grafico Cusum ha una pendenza positiva. Allo stesso modo per valori sistematicamente inferiori al valore nominale la pendenza è negativa (punti 35+50).
- 3) Quanto più grande è la differenza rispetto al valore nominale tanto maggiore è la pendenza. Per esempio, il tratto a pendenza negativa è più ripido di quello a pendenza positiva.
- 4) Se la serie dei punti originali mostra una tendenza a crescere o a diminuire la pendenza della curva Cusum aumenta.

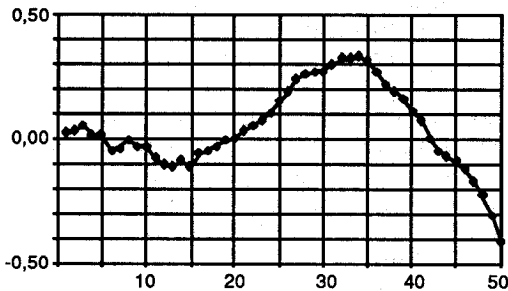
I vantaggi principali delle carte Cusum possono essere riassunti come segue.

- 1) Le variazioni di tendenza, la loro importanza e i punti dove esse avvengono

sono più facili da individuare.



a) Carta di controllo convenzionale



b) Carta CUSUM

Fig. 11.7 - Carta di controllo convenzionale e carta Cusum relative al diametro di un pezzo tornito

- 2) L'accumulo delle deviazioni dal valore ideale rende possibile la scoperta di condizioni anormali anche in caso di produzione a piccoli lotti.
- 3) E' facile estrarre dai dati Cusum le medie locali (calcolate considerando il punto in oggetto e un numero predefinito di punti precedenti). La media tra due punti viene calcolata prendendo la differenza dei valori Cusum tra i due punti, dividendola per il numero degli intervalli tra i due punti e aggiungendola al valore nominale. Ad esempio, la media dei punti che vanno da 15 a 24 è 80.

Queste caratteristiche rendono agevole l'utilizzo delle carte per uso diagnostico e ne consigliano l'uso per rapporti al management.

Di particolare importanza nella costruzione di una carta Cusum è la scelta del valore rispetto al quale calcolare le differenze. Questo valore può essere la media, l'obiettivo fissato o quanto altro possa rendere la carta il più possibile rappresentativa delle caratteristiche del fenomeno da esaminare.

### Analisi di Pareto

L'analisi di Pareto è una metodologia di tipo grafico (o numerico) messa a punto per aiutare a individuare i problemi più importanti e ha come presupposto l'osservazione empirica che mediamente solo il 20% dei problemi che si presentano è importante e risolvendo questo 20% si può portare a soluzione l'80% delle difficoltà.

Il grafico di Pareto (fig. 11.8) è costituito da un istogramma in cui le categorie (asse x) sono ordinate per valore (asse y) decrescente e i valori sono espressi in percentuale; all'istogramma è sovrapposta la linea dei valori cumulati.

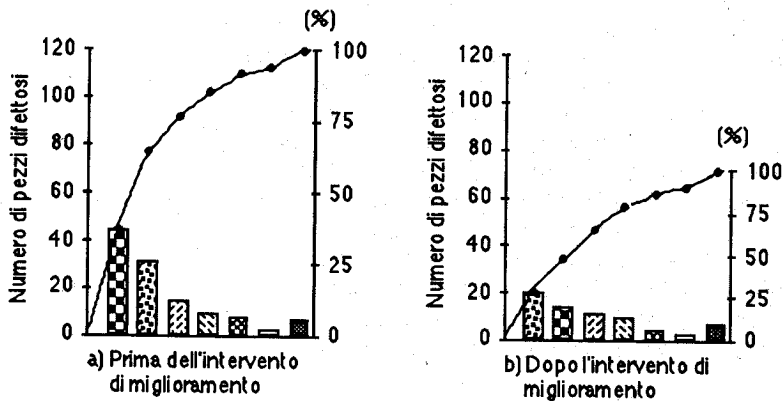


Fig. 11.8 - Grafico di Pareto delle cause di difettosità prima e dopo l'intervento di miglioramento

Il diagramma di Pareto può venire applicato in tutti gli stadi e a tutti gli aspetti del processo di miglioramento e normalmente rappresenta il primo passo, in quanto permette di:

- individuare le aree prioritarie di intervento;
- attrarre l'attenzione di tutti sulle priorità;
- dare concretezza agli scopi (per esempio ridurre del 50% il valore della prima barra).

L'analisi di Pareto, inoltre, permette un'immediata verifica dell'efficacia dei tentativi di miglioramento. Infatti confrontando due rappresentazioni dello stesso fenomeno prima e dopo l'intervento si ha una visualizzazione immediata dei progressi compiuti e una misura del miglioramento complessivo, che normalmente si riflette anche in un cambiamento nell'ordine di importanza delle caratteristiche.

L'analisi di Pareto è un potente strumento del processo informativo e

soprattutto decisionale, in quanto permette a chiunque in azienda di concentrarsi sulle cose e decisioni importanti che sostanziano la sua attività.

### *Diagramma causa-effetto*

Il diagramma causa-effetto, o diagramma a lisca di pesce, messo a punto da Ishikawa, fornisce una visione completa delle cause di un fenomeno e delle loro interazioni, per cui trova la sua massima utilità non solo nelle indagini conoscitive per pianificare azioni preventive e nell'attività di ricerca all'indietro per risalire alle cause dei problemi, ma anche ogni volta che si vogliono scoprire le cause a monte di un effetto, sia positivo che, più spesso, negativo.

Il primo passo consiste nello stabilire l'evento su cui si vuole operare, nel riportarlo sul foglio e tracciare a ritroso a partire da esso una riga orizzontale sulla quale andranno a confluire linee laterali inclinate verso destra. Utilizzando la tecnica del *brainstorming* e mobilitando tutti quelli che possono dare un contributo alla risoluzione del problema, si cercherà di assegnare a ognuna delle linee laterali una causa capace di generare l'effetto in esame, e per ogni causa si cercheranno cause secondarie generatrici, spingendosi all'indietro finché non compariranno sulla mappa tutte le possibili cause dell'effetto.

La fig. 11.9 presenta un esempio di diagramma causa-effetto tipico per problemi di fabbricazione; in questi casi, quando possibile, le cause principali dovrebbero essere individuate sulla falsariga di questo diagramma (materiali, personale e metodi di lavoro, attrezzature e ispezioni).

I diagrammi causa-effetto possono essere suddivisi in vari tipi:

- analisi di dispersione  
la domanda principale a cui bisogna rispondere è: "Perché c'è questa dispersione nella qualità dei prodotti?"
- classificazione dei processi di produzione  
la linea principale segue il processo di produzione e tutti i fattori che influenzano la qualità sono aggiunti nella sequenza con cui si presentano nel processo;
- enumerazione delle cause  
le cause sono dapprima semplicemente elencate e solo successivamente si cerca di suddividerle in gruppi omogenei e di stabilire una gerarchia tra di esse.

Il diagramma causa-effetto risponde a vari scopi e i suoi vantaggi si possono così sintetizzare:

- è di per sé educativo, perché favorisce il confronto delle opinioni e mostra la sua massima utilità come strumento di lavoro di gruppo;
- è una guida per la discussione, perché costringe a focalizzare la discussione evitando dispersioni;
- la ricerca delle cause è attiva e i risultati appaiono immediatamente sul diagramma;
- rappresenta esattamente il livello della tecnologia (se riesco a scoprire tutte le

cause della dispersione vuol dire che conosco molto bene il processo produttivo e sono in grado di intervenire per migliorarlo);

- può essere usato per ogni sorta di problemi, non solo produttivi o tecnologici.

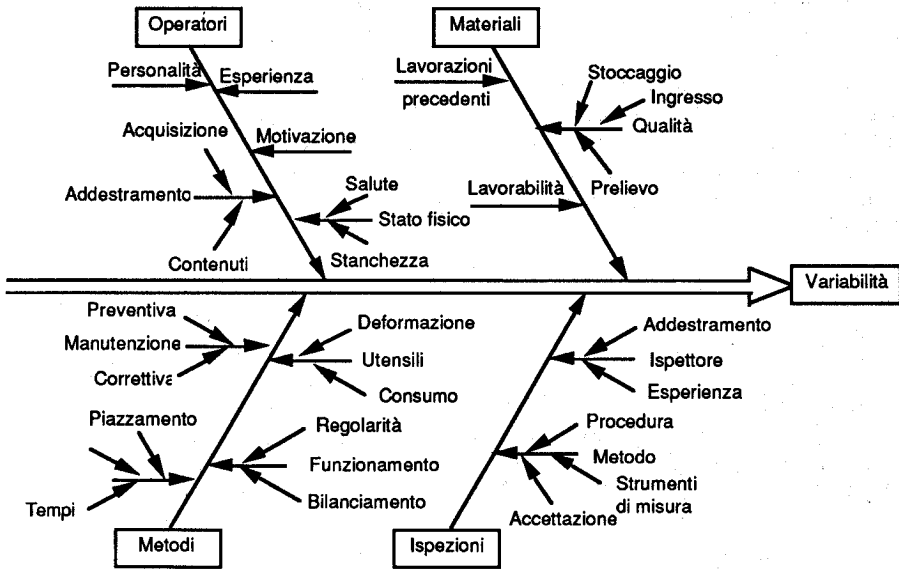


Fig. 11.9 - Diagramma causa-effetto per la variabilità di un generico processo produttivo

Il diagramma di Ishikawa è uno strumento potente, ma complesso e non banale da predisporre, e rappresenta la sintesi visiva del pensiero di tutti gli esperti. Oltre alla sua immediata utilità nei processi di miglioramento deve perciò essere utilizzato per trasferire conoscenza, dal momento che il suo contenuto in informazione è molto elevato.

Una variante, o meglio un raffinamento del diagramma a lisca di pesce, è costituito dal diagramma CEDAC (Cause and Effect Diagram with Addition of Cards - Diagramma Causa-Effetto con l'aggiunta di schede), trattato nel cap. 2.

### Stratificazione

Una volta selezionato un problema e ottenuti i dati per la sua valutazione, può essere importante ai fini decisionali individuare le categorie in funzione delle quali esaminare il fenomeno sottoposto a indagine e valutare quanto ognuna di esse pesi nel contesto generale. Il processo statistico che permette di ottenere un simile risultato si chiama stratificazione.

I passi in cui si articola la stratificazione sono:

- determinazione delle caratteristiche in funzione delle quali si desidera disaggregare i dati;
- riagggregazione dei dati in funzione delle stesse;
- tracciamento di grafici (istogrammi, diagrammi di correlazione, grafici di Pareto, carte di controllo e quant'altro necessario) separati per ogni caratteristica.

La fig. 11.10 presenta vari istogrammi del fenomeno assenteismo con stratificazione per mese, età, qualifica e sesso; naturalmente queste variabili potrebbero anche essere accoppiate in varie maniere in modo da ottenere, per esempio, un istogramma stratificato contemporaneamente per età e sesso, oppure mettere a confronto l'andamento dell'assenteismo mensile o per qualifica in anni diversi.

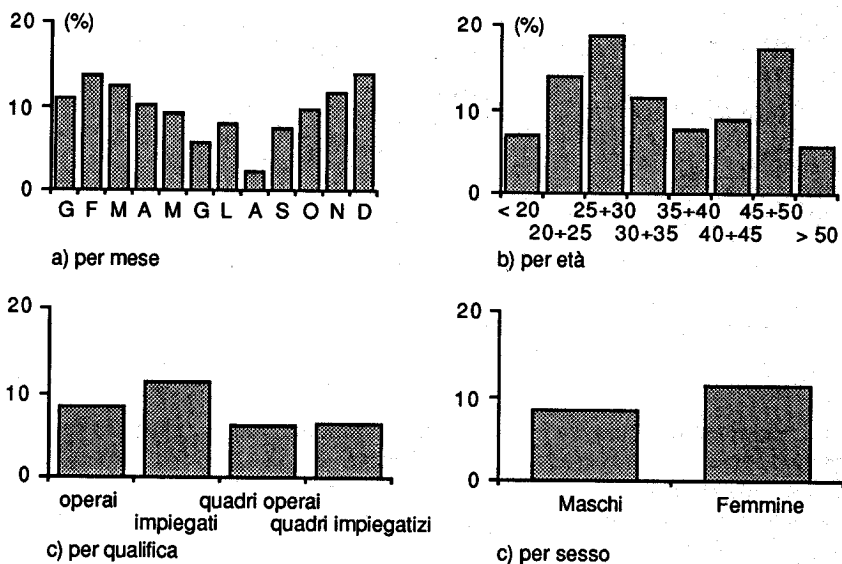


Fig. 11.10 - Alcune modalità di stratificazione del fenomeno assenteismo

#### 11.4 Esempi di applicazione dei sette strumenti

In questo paragrafo saranno presentati due esempi di applicazione complessa e integrata dei sette strumenti e delle tecniche statistiche.



### 11.4.1 Analisi di Pareto applicata all'ispezione al ricevimento

Il caso presentato, tratto da /11.5/, riguarda l'ispezione al ricevimento delle parti costituenti un irrigatore rotante.

Lo scopo dell'analisi di Pareto è duplice:

- valutazione qualitativa delle parti per la razionalizzazione delle ispezioni al ricevimento;
- riduzione della difettosità delle parti e dei guasti dell'irrigatore.

I difetti rilevati nel corso dell'ispezione delle parti sono suddivisi in 4 livelli di gravità, a ognuno dei quali viene assegnato un punteggio secondo lo schema seguente.

Gravità	Punti	Caratteristiche del difetto
I	1	Difetto che non influenza in alcun modo l'assemblaggio
II	5	Difetto che rende difficoltoso l'assemblaggio
III	25	Difetto che rende impossibile l'assemblaggio
IV	100	Difetto che può causare un guasto critico del prodotto

La difettosità delle parti è caratterizzata sia dal numero dei difetti che dal punteggio a essi associato. I dati provengono dall'ispezione al ricevimento delle parti destinate a un lotto di 50 irrigatori e dalla manutenzione durante un periodo di 16 mesi.

Come primo passo viene costruita la tab. 11.1, che riporta le parti, il tipo di difetti rilevati, la classificazione dei tipi di difetti in categorie omogenee dal punto di vista tecnologico, la gravità dei difetti e due caratteristiche quantitative di difettosità delle parti, il numero di difetti di ogni tipo e il numero totale di punti attribuibili a quel difetto.

Ai fini dell'analisi di Pareto, in tab. 11.2 le parti sono classificate in ordine discendente di numero di difetti e di numero di punti; per ognuna delle due liste sono calcolati anche il valore cumulato, rispettivamente di difetti e punti, sia come numero che come percentuale. Per determinare i difetti più importanti (*vital few* - pochi vitali) sono adottati due criteri, uno detto del 50% e l'altro che fa uso del numero medio di difetti, o di punti, per parte.

Secondo il primo criterio sono considerate "*vital few*" quelle parti i cui difetti rendono conto globalmente di più della metà della difettosità totale. Nel caso in esame si tratta delle prime cinque parti (38, 24, 39, 19 e 20), se consideriamo il numero di difetti, e delle prime due (24 e 20) se consideriamo il punteggio.

N	Parte	Descrizione del difetto	Tipo	Gravità	Difetti	Punti
15	Puntone	Superamento tolleranza foro	A	I	48	48
19	Braccio del carrello	Zincatura difettosa	E	II	5	25
		Trattamento dopo zincatura difettoso	D	I	15	15
		Difetti di linearità e posizione	B	II	25	125
		Deformazioni provocate dal maneggio	F	II	12	60
20	Barra di trazione inferiore	Superate tolleranze dimensionali	A	II	18	90
		Difetti di saldatura	C	IV	21	2100
		Parti saldate fuori allineamento	B	I	12	12
		Accoppiamento materiali errato	H	IV	5	500
21	Barra di trazione marginale	Superate tolleranze dimensionali	A	II	20	100
		Trattamento dopo zincatura difettoso	D	I	12	12
23	Barra di ancoraggio	Zincatura difettosa	E	II	2	10
		Difetti di saldatura	C	IV	2	200
24	Barra di trazione diagonale	Superate tolleranze dimensionali	A	II	31	155
		Difetti di saldatura	C	IV	27	2700
		Parti fuori allineamento	B	I	26	26
		Accoppiamento materiali errato	H	IV	5	500
25	Tirante diagonale	Zincatura difettosa	E	II	8	40
26	Barra obliqua	Superate tolleranze dimensionali	A	II	15	75
27	Tirante marginale	Carenze nella documentazione	G	III	16	400
28	Barra di guida	Zincatura difettosa	E	II	5	25
		Superate tolleranze dimensionali	A	II	19	95
		Difetti di saldatura	C	III	10	250
		Deformazioni	B	II	22	110
29	Gamba	Deformazioni	B	II	14	70
30	Montante	Lavorazioni omesse	J	III	4	100
		Deformazioni	B	II	2	10
35	Braccio II	Superate tolleranze dimensionali	A	II	10	50
37	Tubazione di entrata	Zincatura difettosa	E	II	2	10
		Difetti di saldatura	C	III	10	250
38	Tubo di irrigidimento trasversale	Superate tolleranze dimensionali	A	II	50	250
		Difetti di saldatura	C	III	16	400
		Deformazioni	B	II	32	160
		Lavorazioni omesse	J	III	1	25
		Mancato rispetto della tecnologia	H	II	2	10
		Deformazioni dovute alla giunzione	F	III	7	75
39	Tubo di sostegno della vasca	Zincatura difettosa	E	II	22	110
		Superate tolleranze dimensionali	A	II	20	100
		Difetti di saldatura	C	III	12	300
		Deformazioni	B	II	10	50
		Lavorazioni omesse	J	III	3	75
40	Tubo di supporto del perno	Zincatura difettosa	E	II	1	5
		Superate tolleranze dimensionali	A	II	4	20
		Trattamento dopo zincatura difettoso	D	I	5	5
		Difetti di saldatura	C	III	4	100
		Deformazioni	B	II	10	50
		Lavorazioni omesse	J	III	3	75
41	Tubo principale	Zincatura difettosa	E	II	2	10
		Superate tolleranze dimensionali	A	II	1	5
		Trattamento dopo zincatura difettoso	D	I	2	2
		Difetti di saldatura	C	III	3	75
		Deformazioni dovute alla giunzione	F	III	1	25
42	Tubo di supporto del braccio	Superate tolleranze dimensionali	A	II	15	75
		Trattamento dopo zincatura difettoso	D	I	15	15
		Difetti di saldatura	C	III	2	50
		Deformazioni dovute alla giunzione	F	III	1	25
43	Tubazione del braccio	Zincatura difettosa	E	II	1	5
		Superate tolleranze dimensionali	A	II	3	15
		Difetti di saldatura	C	III	2	50
		Deformazioni	B	II	10	50
		Deformazioni dovute alla giunzione	F	III	2	50
48	Serraggio	Superate tolleranze dimensionali	A	II	15	75
51	Dado serraggio	Superate tolleranze dimensionali	A	II	15	75
54	Piastra di rinforzo	Superate tolleranze dimensionali	A	II	15	75

Tab. 11.1 - Parti di un irrigatore rotante e difettosità relativa

Il secondo criterio consiste nel considerare "vital few" quelle parti che hanno un numero di difetti (o un punteggio) superiore al valor medio. Questo modo di procedere porta a considerare come importanti un numero di parti maggiore di quello derivante dall'altro criterio, sia se si prende in esame il numero di difetti che il punteggio. Infatti, sempre con riferimento all'esempio, dobbiamo ritenere "vital few" nel caso del numero di difetti le prime 8 parti e nel caso del punteggio le prime 5.

parti difettose		numero cumulato difetti		parti difettose		punteggio cumulato	
parte	difetti	assoluto	percentuale	parte	punti	assoluto	percentuale
38	108	108	14,59	24	3381	3381	31,31
24	89	197	26,62	20	2702	6083	56,32
39	67	264	35,68	38	1020	7103	65,77
19	57	321	43,38	39	635	7738	71,65
20	56	377	50,95	28	480	8218	76,09
28	56	433	58,51	27	400	8618	79,80
15	48	481	65,00	37	260	8878	82,20
42	33	514	69,46	40	255	9133	84,56
21	32	546	73,78	19	225	9358	86,65
40	27	573	77,43	23	210	9568	88,59
54	25	598	80,81	43	170	9738	90,17
43	18	616	83,24	42	165	9903	91,69
27	16	632	85,41	54	125	10028	92,85
26	15	647	87,43	41	117	10145	93,94
48	15	662	89,46	21	112	10257	94,97
51	15	677	91,49	30	110	10367	95,99
29	14	691	93,38	26	75	10442	96,69
37	12	703	95,00	48	75	10517	97,38
35	10	713	96,35	51	75	10592	98,07
41	9	722	97,57	29	70	10662	98,72
25	8	730	98,65	35	50	10712	99,19
30	6	736	99,46	15	48	10760	99,63
23	4	740	100,00	25	40	10800	100,00
numero medio difetti per parte			32,17	numero medio punti per parte			469,57

Tab. 11.2 - Classificazione delle parti di un irrigatore in funzione del numero dei difetti e del numero di punti.

La maggiore o minore efficacia del numero di difetti o del punteggio ai fini dell'individuazione delle parti su cui concentrare gli sforzi di miglioramento dipende strettamente dal modo in cui viene attribuito il punteggio ai diversi livelli di gravità dei difetti. L'assegnazione dei punti ai vari livelli di gravità dei difetti fatta nell'esempio rende più efficace il criterio del punteggio, poiché permette la focalizzazione su un minor numero di parti.

L'analisi di Pareto si può approfondire ulteriormente prendendo in esame anche le singole categorie di difetti, ottenendo in tal modo la tab. 11.3. Per individuare le "vital few" categorie di difetti usiamo ancora il criterio del numero

medio di difetti o di punti per categoria. Il numero medio di difetti per categoria vale  $740/9 = 82,22$ , mentre il numero di punti vale  $10800/9 = 1200$ .

Parte	Tipologia di difetto									Totale
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Difetti Punti
38	50 250	32 160	16 400			7 175		2 10	1 25	108 1020
24	31 155	26 26	27 2700					5 500		89 3381
39	20 100	10 50	12 300		22 110				3 75	67 635
19		25 125		15 15	5 25	12 60				57 225
20	18 90	12 12	21 2100					5 500		56 2702
28	19 95	22	10 250		5 25					58 480
15	48 48	110								48 48
42	15 75		2 50	15 15		1 25				33 165
21	20 100			12 12						32 112
40	4 20	10 50	4 100	5 5	1 5				3 75	27 255
54	25 125									25 125
43	3 15	10 50	2 50		1 5	2 50				18 170
27							16 400			16 400
26	15 75									15 75
48	15 75									15 75
51	15 75									15 75
29		14 70								14 70
37			10 250		2 10					12 260
36	10 50									10 50
41	1 5		3 75	2 2	2 10	1 25				9 117
25					8 40					8 40
30		2 10							4 100	6 110
23			2 200		2 10					4 210
Totale										
Difetti	309	163	109	49	48	23	16	12	11	740
Punti	1353	663	6475	49	240	335	400	1010	275	10800

Tab. 11.3 - Esame delle singole categorie di difetti delle parti dell'irrigatore

Sulla base del numero di difetti le categorie da considerare importanti sono:  
A mancato rispetto delle tolleranze dimensionali

B deformazioni geometriche.

C difetti di saldatura.

Dal punto di vista del punteggio le categorie importanti sono:

C difetti di saldatura,

A mancato rispetto delle tolleranze dimensionali.

Le analisi di Pareto condotte mettono in evidenza le parti e la tipologia di difetti su cui concentrare le operazioni di miglioramento. L'analisi potrebbe essere ulteriormente estesa introducendo altri parametri quantitativi, tra cui in primo luogo i costi dei difetti (scarti, riparazioni, interventi in garanzia), con lo scopo ultimo di ottenere miglior qualità delle parti e del prodotto finito ad un minor costo complessivo.

#### 11.4.2 Cambiamento della guarnizione della portiera di un'automobile di classe medio-alta

Il caso presentato, tratto da /11.6/, è relativo alle attività di messa a punto della tenuta della portiera della Rover Acclaim Serie 200 in occasione del cambio del fornitore della guarnizione della portiera.

La tenuta è controllata attraverso la compressione della guarnizione, costituita da un profilato cavo di neoprene trattenuto da un profilo metallico fissato alla portiera, tra portiera e cornice. La sezione della guarnizione presenta un labbro cavo e mobile che assicura la tenuta dalla parte del corpo macchina e un baffo che preme contro l'interno della portiera. Scarsa tenuta da luogo a non buona chiusura della porta, ingresso d'acqua e polvere ed eccessivo rumore dovuto al vento. Vengono presentati soltanto gli aspetti relativi a quest'ultimo fattore di cattiva qualità e conseguenti potenziali lamentele dell'utente.

Il primo passo è consistito nella predisposizione di un diagramma causa-effetto, di cui è presentata in fig. 11.11 una versione semplificata. Il diagramma è stato preparato sulla base dell'esperienza precedente e dei ritorni dal campo di sistemi simili; le quattro voci contrassegnate con asterisco sono state selezionate come meritevoli di un'analisi sperimentale.

Per ognuno dei quattro fattori da sottoporre a test sono stati individuati tre livelli di messa a punto: basso, nominale, alto. È stato scelto un piano di prova fattoriale completo, che ha richiesto l'effettuazione di  $3^4 = 81$  esperimenti, dal momento che sono state provate tutte le combinazioni dei possibili livelli per i quattro fattori. Per ogni esperimento è stata fatta una valutazione dei risultati assegnando un punteggio da 1 a 10. Il piano di prova completo con i risultati della valutazione di ogni singolo esperimento è presentato in tab. 11.4.

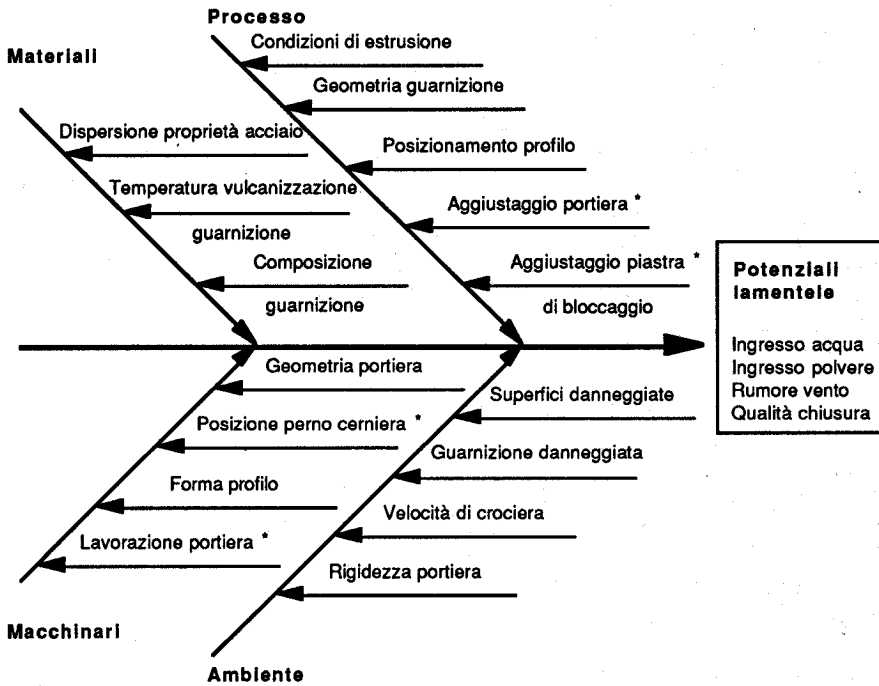


Fig. 11.11 - Diagramma causa-effetto semplificato relativo al rumore del vento sulla portiera di un'auto

		A1			A2			A3		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
C1	D1	7	6	6	6	7	8	8	6	5
	D2	6	6	6	5	5	5	5	4	4
	D3	6	6	6	6	6	6	5	5	4
C2	D1	9	8	7	9	9	8	9	8	8
	D2	8	8	8	8	9	7	8	8	7
	D3	8	8	7	8	8	8	8	7	7
C3	D1	8	7	7	8	8	6	7	6	6
	D2	7	7	6	8	7	7	7	6	5
	D3	6	5	5	6	5	5	5	4	4

**Fattori**

- A = gioco portiera
- B = posizione cerniera
- C = posizione portiera
- D = posizione serratura

**Messa a punto**

- 1 = bassa
- 2 = nominale
- 3 = alta

**Valutazione**

- 1 = completamente insoddisfacente
- 5 = appena soddisfacente
- 10 = completamente soddisfacente

Tab. 11.4 - Piano di prova completo e test di rumore del vento sulla portiera

Per determinare i fattori rilevanti ai fini della riduzione del rumore del vento, le interazioni significative tra i fattori stessi e il livello di messa a punto ottimale di ogni singolo fattore tenendo conto delle mutue influenze si è fatto uso di una tecnica statistica nota come analisi della varianza. La tab. 11.5 riporta i risultati dell'analisi della varianza sui dati sperimentali e riassume gli effetti dei singoli fattori e delle interazioni tra di essi che si sono rivelate importanti ai fini dell'ottenimento di una elevata qualità della tenuta.

Analisi della varianza							
Fattori	Variazione	Gradi lib.	Stime var.	F	F(0,05)	F(0,01)	Signif.
A	10,173	2	5,086	15,77	3,63	6,23	0,01
B	9,802	2	4,901	15,20	3,63	6,23	0,01
C	73,802	2	36,901	114,41	3,63	6,23	0,01
D	20,469	2	10,235	31,73	3,63	6,23	0,01
AxB	2,420	4	0,605	1,88	3,01	4,77	NO
AxC	2,420	4	0,605	1,88	3,01	4,77	NO
AxD	1,531	4	0,383	1,19	3,01	4,77	NO
BxC	1,901	4	0,475	1,47	3,01	4,77	NO
BxD	0,790	4	0,198	0,61	3,01	4,77	NO
CxD	12,123	4	3,031	9,40	3,01	4,77	0,01
AxBxC	2,765	8	0,346	1,07	2,59	3,89	NO
AxBxD	1,432	8	0,179	0,56	2,59	3,89	NO
AxCxD	2,765	8	0,346	1,07	2,59	3,89	NO
BxCxD	1,062	8	0,133	0,41	2,59	3,89	NO
AxBxCxD	5,160	16	0,323				
Totale	148,617	80					

Effetto dei singoli fattori e interazioni principali

a1	a2	a3
6,81	6,96	6,15

b1	b2	b3
7,07	6,63	6,22

c1	c2	c3
5,74	7,96	6,22

d1	d2	d3
7,30	6,56	6,07

	c1	c2	c3
d1	6,56	8,33	7,00
d2	5,11	7,89	6,67
d3	5,56	7,67	5,00

Condizioni ottimali

a2	b1	c2	d1
----	----	----	----

Valutazione corrispondente alle condizioni ottimali = 9

Tab. 11.5 - Analisi della varianza per i dati di tab. 11.4, effetti dei singoli fattori e delle interazioni significative e valori ottimali dei fattori stessi.

Le condizioni ottimali di messa a punto dei fattori, che conducono a una valutazione globale di 9, sono A2, B1, C2, D1. Naturalmente le esigenze

Per determinare i fattori rilevanti ai fini della riduzione del rumore del vento, le interazioni significative tra i fattori stessi e il livello di messa a punto ottimale di ogni singolo fattore tenendo conto delle mutue influenze si è fatto uso di una tecnica statistica nota come analisi della varianza. La tab. 11.5 riporta i risultati dell'analisi della varianza sui dati sperimentali e riassume gli effetti dei singoli fattori e delle interazioni tra di essi che si sono rivelate importanti ai fini dell'ottenimento di una elevata qualità della tenuta.

Analisi della varianza							
Fattori	Variazione	Gradi lib.	Stime var.	F	F(0,05)	F(0,01)	Signif.
A	10,173	2	5,086	15,77	3,63	6,23	0,01
B	9,802	2	4,901	15,20	3,63	6,23	0,01
C	73,802	2	36,901	114,41	3,63	6,23	0,01
D	20,469	2	10,235	31,73	3,63	6,23	0,01
AxB	2,420	4	0,605	1,88	3,01	4,77	NO
AxC	2,420	4	0,605	1,88	3,01	4,77	NO
AxD	1,531	4	0,383	1,19	3,01	4,77	NO
BxC	1,901	4	0,475	1,47	3,01	4,77	NO
BxD	0,790	4	0,198	0,61	3,01	4,77	NO
CxD	12,123	4	3,031	9,40	3,01	4,77	0,01
AxBxC	2,765	8	0,346	1,07	2,59	3,89	NO
AxBxD	1,432	8	0,179	0,56	2,59	3,89	NO
AxCxD	2,765	8	0,346	1,07	2,59	3,89	NO
BxCxD	1,062	8	0,133	0,41	2,59	3,89	NO
AxBxCxD	5,160	16	0,323				
Totale	148,617	80					

Effetto dei singoli fattori e interazioni principali

a1	a2	a3
6,81	6,96	6,15

b1	b2	b3
7,07	6,63	6,22

c1	c2	c3
5,74	7,96	6,22

d1	d2	d3
7,30	6,56	6,07

	c1	c2	c3
d1	6,56	8,33	7,00
d2	5,11	7,89	6,67
d3	5,56	7,67	5,00

Condizioni ottimali

a2	b1	c2	d1
----	----	----	----

Valutazione corrispondente alle condizioni ottimali = 9

Tab. 11.5 - Analisi della varianza per i dati di tab. 11.4, effetti dei singoli fattori e delle interazioni significative e valori ottimali dei fattori stessi.

Le condizioni ottimali di messa a punto dei fattori, che conducono a una valutazione globale di 9, sono A2, B1, C2, D1. Naturalmente le esigenze



produttive della linea di montaggio possono imporre (e hanno, in realtà, imposto) per uno o più fattori un allentamento dei requisiti di messa a punto, che porta a un range di valori subottimali dei fattori e a un prodotto finale con una valutazione che può essere minore del valore ideale di 9.

## 11.5 Conclusioni

Gli strumenti grafici e statistici descritti (7 strumenti) hanno un uso generale, ma trovano la loro applicazione principale nella risoluzione dei problemi (problem solving). Risolvere un problema vuol dire modificare un comportamento o una condizione in modo da ricondurre un risultato insoddisfacente entro i limiti previsti; inoltre il problema non si può considerare risolto se non si prendono provvedimenti affinché esso non possa più ripresentarsi.

Nel seguito sono elencate le fasi attraverso le quali viene risolto un problema e per ognuna di esse vengono date indicazioni sugli strumenti statistici da utilizzare.

### *Individuazione del problema*

Scegliere un problema di rilevante importanza (analisi di Pareto) e un obiettivo raggiungibile.

### *Programmazione del lavoro*

Stabilire le risorse necessarie, le responsabilità e le scadenze temporali.

### *Caratterizzazione del problema*

Acquisire tutti gli aspetti del problema, sia formali (foglio raccolta dati) che informali (non quantificabili).

### *Analisi dei dati*

Cercare di estrarre dai dati il maggior numero di informazioni possibili, facendo uso di tutti gli strumenti statistici.

### *Formulazione delle ipotesi*

Disegnare un diagramma causa-effetto che includa tutte le possibili cause, cercare di rimuovere tutti quegli elementi che non possono essere cause e dare una valutazione dell'importanza delle cause rimaste.

### *Verifica delle ipotesi*

Pianificare la raccolta di nuovi dati per verificare la relazione tra cause e effetti, raccogliere i dati e analizzarli (diagrammi di correlazione, analisi di Pareto, ecc.).

### *Azioni correttive*

Valutare le azioni proposte tenendo conto anche degli effetti collaterali e intraprendere le azioni decise.

### *Verifica della risoluzione*

Confrontare i dati raccolti prima e dopo l'applicazione delle contromisure, usando lo stesso metodo e gli stessi strumenti statistici.

### *Confronto con gli obiettivi*

Confrontare i risultati dell'intervento con la situazione precedente e gli obiettivi proposti, possibilmente in termini economici.

### *Rendere impossibile il ripetersi del problema*

Per evitare che a distanza di tempo il problema si ripresenti, standardizzare i provvedimenti e addestrare e istruire chi li deve mettere in atto.

### *Bilancio consuntivo e preventivo*

Individuare i problemi non ancora risolti e decidere se e quando intervenire.

Valutare l'approccio e gli strumenti adoperati, anche a fronte del grado di soddisfazione degli obiettivi posti.

Il rispetto della metodologia qui delineata, nelle fasi e nella loro sequenzialità, garantisce che le attività di miglioramento portino benefici reali e duraturi. La fase di bilancio finale, per suo conto, può essere vista come una riflessione della metodologia su se stessa, ai fini di elevare la qualità degli interventi di miglioramento.

## Bibliografia

- 11.1 Sergio Gay "Flessibilità strategica dei sistemi di produzione" Franco Angeli / Azienda moderna, 1986
- 11.2 Kaoru Ishikawa "Guide to Quality Control" Asian Productivity Organization, 1982
- 11.3 J. M. Juran "Quality Control Handbook" McGraw-Hill, 1951
- 11.4 A. V. Feigenbaum "Total Quality Control" McGraw-Hill, Third Edition, 1983
- 11.5 F. Egermayer "Pareto Analysis in Incoming Inspection at Vendor" EOQC Quality No. 2/1988, June, Volume XXXII
- 11.6 Bertodo, R.G. (1988) "Reliability in automotive design" Int. J. of Vehicle Design vol. 9, no. 2, pp. 140-158