



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1136

DATA: 16/10/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Garino

MATERIA: Ingegneria della Qualità

Prof. Franceschini\_Galetto

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

## ■ Introduzione

Nel 1953 viene pubblicata la rivista *Technometrics*, il cui fondatore ancora oggi costituisce uno dei riferimenti importanti (ancora oggi) nel campo della qualità e del quality engineering.

Alla fine dei '60 mancano molti strumenti legati agli aspetti affidabilità. È lo stesso tempo che introduce il concetto di affidabilità: un conto è garantire una certa prestazione, un altro è quello di far sì che perduri nel tempo. La sottodisciplina della qualità legata all'affidabilità è detta *reliability engineering*.

Nel 1960 viene introdotto il concetto di circolo della qualità: non solo più legati ad ambienti tecnici ma anche operativi. Nello stesso periodo la qualità "entra" nelle università.

Nel '63 escono altre due testate: "Quality Progress" e "Journal of quality technology" che articolano la materia in maniera sempre più ampia. Nell'80 viene introdotto il TQM: Total Quality Management (= gestione totale della qualità). Si inizia a capire che la qualità tocca necessariamente tutti i momenti di vita di un'impresa/prodotto. Prendono poi forma i metodi Taguchi: egli introduce gli elementi del "design of experiment". In realtà questi metodi erano stati introdotti per la prima volta negli anni '30 con i metodi di Fisher.

Taguchi fa un passo in avanti portando questi metodi in azienda, anche se talvolta utilizzati in maniera non propria.

Negli anni '80 vengono da introdotto i primi premi per la qualità, tra cui il Malcolm Baldrige National Quality Award che il Congresso degli US dà alle sue imprese per stimolarle in direzione della qualità. Successivamente è stato introdotto in Europa e anche in Italia. L'aspetto interessante è che sono stati promossi da Enti del governo.

Nell'83 nasce un'altra rivista: *Quality Engineering* e nel '90 esplose l'intere verso la normativa ISO 9000: è una famiglia di norme che hanno il compito di indirizzare le imprese nell'utilizzo di strumenti per la qualità. La certificazione può essere un indice di qualità, ma non sempre effettivamente è così.

J. Juran: autore di "Quality handbook". Egli ritiene che chi fa qualità non può farlo in maniera istantanea, ma deve essere necessariamente colata nella vita quotidiana.

Egli ha inoltre un forte approccio pragmatico al problema, cioè essi devono essere affrontati con strumenti adatti.

I concetti fondamentali della sua filosofia sono:

- accurate diagnosi di "mali" dell'impresa e progetto dei rimedi.
- organicità del progetto di miglioramento
- diffusione dei risultati monetizzati (=quello che i manager capiscono)
- promozione ed analisi della qualità.

### • Cosa è la qualità?

Esa ha avuto diverse definizioni nel tempo, con eccezioni sia positive che negative. Negli anni '30 Lord Rutherford, creatore del primo modello atomico, affermava che la qualità era una "cattiva" quantità, venendo relegata in un primo piano.

Con il passar del tempo il mondo delle norme ISO ha sentito la necessità di dover dare una definizione alla qualità.

Nell' '86 la prima definizione recitava:

"La qualità è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conducono ad una capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite."

Secondo questa definizione la qualità non è una cosa sola, ma è multidimensionale: sorge dunque il problema di avere un'unità di misura unica.

Di chi sono inoltre le esigenze? Dei clienti? Se così fosse sarebbe troppo penalizzante perché non tutti gli operatori vedono il cliente finale.



Se prendiamo ad esempio un'auto essa ha più caratteristiche.  
Vi sono l'economicità, prestazioni, estetica, sicurezza, affidabilità ecc.  
Il prezzo è uno di essi? Queste grandezze sono tutte misurabili?  
Il prezzo non va tenuto in considerazione poiché non è definito dalla qualità dell'oggetto; esso è il primo filtro per trovare il proprio segmento, e in seguito avviene la valutazione della qualità (a parità di prezzo segmento sono le caratteristiche). Dunque il binomio qualità/prezzo in questi termini ha poco senso.  
Esistono poi grandezze misurabili più facilmente di altre.

I concetti principali sono dunque i seguenti:

- I) Quando si valuta un prodotto, esso viene osservato sotto più punti di vista, poiché la qualità si gioca su più piani (multidimensionale)
- II) Tutti gli attributi non sono soggettivamente parimenti importanti
- III) Se la qualità si esprime su alcune caratteristiche, il problema diventa la loro misura.

Alcuni attributi sono più misurabili di altri, anche con diversi indicatori, ad esempio:

- $R(t) = P[E < T]$  : reliability
- MTBF : Mean time between failure
- MTTF : Mean time to failure

Ma altre caratteristiche come l'estetica? È un esempio di grandezza complessa. Si potrebbe escludere dalla valutazione, ma sarebbe una scelta "sana"? Inoltre alcune grandezze sono più soggettive di altre, ma anche là rimane il problema della misurazione.

Ogni volta che acquisto un pasto, qual è la probabilità di avere un ottimo servizio (= nessun elemento guasto)?

$$P[\text{ottimo pasto}] = 0,99^{10} = 90\%$$

dove  $\cdot 0,99 = 1 - 0,01$ , cioè il complemento a uno della difettosità di un singolo elemento

$\cdot 10 = \#$  elementi componenti il pasto

Dunque per il solo fatto che l'assemblato è composto da 10 elementi con difettosità pari all'1%, si ha solo il 90% di probabilità di avere un pasto ottimo, cioè 9 su 10.

Se il rivenditore riceve la visita di una famiglia composta da 4 persone, la P che tutti abbiano un servizio ottimo sarà:

$$P[\text{pasto ottimo totale}] = [0,99^{10}]^4 = 0,90^4 = 0,65$$

Se la famiglia fa un pasto del genere una volta al mese, la probabilità che tutti i pasti in un anno siano perfetti è:

$$P[\text{ottimo tutto l'anno}] = [(0,99^{10})^4]^{12} = 0,65^{12} = 0,5\% = 5\%$$

Se la variabilità non avesse effetti così catastrofici, non servirebbe la disciplina della qualità. Se si fa una spesa, un miglioramento continuo facendo passare la variabilità allo 0,1%, si avrebbe:

$$P[\text{ottimo pasto}] = 0,999^{10} = 0,99$$

$$P[\text{pasto ottimo totale}] = 0,99^4 = 0,96$$

$$P[\text{ottimo tutto l'anno}] = 0,96^{12} = 0,61$$

- Osservazioni:
- 1) Non si ha un aumento lineare della probabilità
  - 2) Chi si occupa di qualità, deve cercare di ridurre la difettosità.

Chi si occupa di qualità si occupa di controllare come si comporta il processo nel tempo: il diagramma precedente è una "foto" in un determinato istante temporale. Se riusciamo ad averne in ogni istante otterremmo qualcosa del genere:

Ma questa è una figura ideale poiché non può essere realizzata, in quanto non è possibile "fotografare" le distribuzioni.

Chi fa controllo qualità ha una popolazione da cui estrae un campione e sulle base dei relativi contenuti informativi è in grado di tirare fuori una media (detto anche indicatore di tendenza centrale) e un indicatore di dispersione. Egli dunque fa delle inferenze: da un dato suppone il comportamento di una distribuzione.

La carta di controllo serve a capire quando avviene una deriva della media o della dispersione della distribuzione.

## ② DOE

Sono oggetti in grado di migliorare le prestazioni dei processi.

Un esempio è quello dei piani fattoriali. La loro caratteristica è che consentono di ottimizzare i processi non lineari, cioè a processo fisso, soprattutto nella fase di pre-industrializzazione.

Il loro obiettivo è quello di rendere i processi più efficienti e/o efficaci; questo concetto si declina in tre ambiti di applicazione:

- a) Progettazione di nuovi prodotti
- b) Miglioramento di prodotti già esistenti
- c) Ottimizzazione del processo produttivo

Le domande da farsi quando si esegue un esperimento sono:

- quali sono i fattori da investigare per controllare l'esperimento?
- quanti pezzi sono da provare per ciascun processo?
- in quale ordine sono da eseguire le prove?
- ottenute le risposte, come analizzare i dati sperimentali?
- quanto grandi devono essere le differenze per essere rilevanti?

Esempio: si conducono misure di durezza, per misurare la resistenza superficiale di provini fatti da barre d'acciaio (utilizzando la scala di Rockwell C). Ci sono due penetratori "idealmente" uguali e voglio capire se restituiscono la stessa misura di durezza. Proviamo due strategie diverse:

- ① Metodo A: si ha la possibilità di fare globalmente 20 prove, 10 per penetratore (completely randomized design).
- ② Metodo B: si utilizzano 10 provini e su ognuno ogni penetratore conduce la sua misura per un totale di 20. (Paired comparison design)

In entrambi i casi il numero totale di misure è 20, ma i due metodi portano alle stesse conclusioni?

I risultati numerici sono i seguenti:

# ordine del provino	penetr. 1	penetrat. 2	differenza
1	7	6	1
2	3	3	0
3	3	5	-2
4	4	3	1
5	8	8	0
6	3	2	1
7	2	4	-2
8	9	3	0
9	5	4	1
10	4	5	-1
	Media = 4,8	Media = 4,9	Media = -0,1

I valori di media della tabella precedente non sono i valori di  $\mu_1$  e  $\mu_2$ , ma sono delle stime delle medie, calcolate attraverso

$$\bar{y}_{1.} = \frac{\sum_{j=1}^{10} y_{1j}}{10} \quad \text{e} \quad \bar{y}_{2.} = \frac{\sum_{j=1}^{10} y_{2j}}{10}$$

Le stime ottenute si possono ritenere statisticamente uguali?  
 E' necessario un test d'ipotesi:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad [\text{detta IPOTESI NULLA}]$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad [\text{detta IPOTESI ALTERNATIVA}]$$

E' ora necessario:

I) Scegliere il livello di rischio  $\alpha$  di prima specie, cioè la probabilità di rigettare l'ipotesi nulla dato che essa è vera:

$$\alpha = P[\text{reject } H_0 \mid H_0 \text{ in force}]$$

Poniamo ad esempio  $\alpha = 5\%$ .

II) Definire una statistica di riferimento, dire cioè "come si comporteranno i dati da un punto di vista teorico?"  
 Qui è chiamata  $t_0$ , costruita come:

$$t_0 = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

(calc.)

dove  $\bar{y}_1 - \bar{y}_2$ : differenza medie dei dati sperimentali.

$\mu_1 - \mu_2$ : differenza teorica delle distribuzioni

$n_i$ : numerosità dei campioni

Si fa riferimento alla t di Student perché la varianza non è nota.

NB: Questo è un confronto delle medie di due popolazioni !! (due gruppi di provini da 10

Applicando quanto detto all'esempio pratico:

$$t_{calc} = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - \overbrace{(\mu_1 - \mu_2)}^{=0 \text{ poiché consideriamo l'ipotesi } H_0}}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Dobbiamo calcolare  $S_p$ , ma per farlo servono le varianze  $S_1^2$  ed  $S_2^2$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} (y_{1i} - \bar{y}_1)^2 =$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} (y_{2i} - \bar{y}_2)^2 =$$

Dunque:

$$S_p = \frac{S_1^2 (n_1 - 1) + S_2^2 (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} =$$

E allora  $t_{calc}$  sarà:

$$t_{calc} = \frac{4,8 - 4,9}{\sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} =$$

Definito  $\alpha = 5\%$

$$t_{10+10-2, 1-\frac{0,05}{2}} = \pm 2,101$$

Poiché

$$-2,101 < \quad < 2,101$$

sulla base dei dati sperimentali raccolti non ci sono ragioni sufficienti per rigettare l'ipotesi nulla ed essa viene accettata.



Riproporzioniamo il test d'ipotesi:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad \text{oppure} \quad \begin{cases} H_0: \mu_d = 0 \\ H_1: \mu_d \neq 0 \end{cases}$$

▮ Nota Statistica.

▮ A) Dato un campione  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  proveniente da una popolazione avente densità  $f(x)$  si definisce media campionaria:

$$\bar{X}_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad \text{con} \quad \bar{X}_m \sim \mathcal{N}\left(\mu, \frac{\sigma^2}{m}\right)$$

Si ha inoltre che  $\mathbb{E}[\bar{X}_m] = \mu$  e  $\text{var}[\bar{X}_m] = \frac{\sigma^2}{m}$ , con  $\mu$  e  $\sigma^2$  rispettivamente media e varianza di  $f(x)$ .

▮ B) Si definisce varianza campionaria di un campione  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  proveniente da una popolazione avente densità  $f(x)$  la quantità:

$$S_m^2 = \frac{1}{m-1} \sum (x_i - \bar{X}_m)^2 \quad \text{con} \quad m > 1.$$

▮ C) Teorema del limite centrale

Sia data una popolazione distribuita con densità  $f(x)$  avente media  $\mu$  e varianza  $\sigma^2$  finite. Detta  $\bar{X}_m$  la media di un campione casuale di dimensione  $m$  estratto da essa, allora la media campionaria segue una distribuzione normale al tendere di  $m$  ad infinito:

$$\bar{X}_m \underset{m \rightarrow \infty}{\sim} \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$$

▮ Stima per intervalli della media (varianza della popolazione non nota)  
Si utilizza la  $t$  di Student con  $m-1$  gradi di libertà:

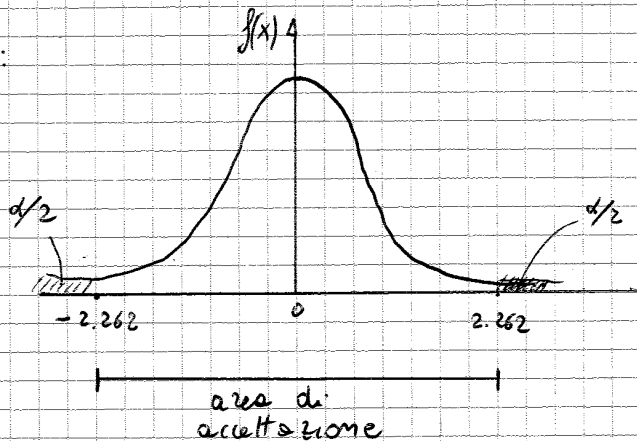
$$t_{\alpha/2} \frac{\bar{X}_m - \mu}{S_{\bar{X}}} = \frac{\bar{X}_m - \mu}{S_m / \sqrt{m}}$$

▮ Si definisce intervallo di fiducia per il parametro  $\theta$  un intervallo casuale che include il vero valore del parametro con una prefissata probabilità, detta livello di fiducia:  $P[L_1 < \theta \leq L_2] = 1 - \alpha$

↓  
dipende  
dalla stima  
e dalla distribuzione  
della stimatore

sulla base dei dati sperimentali raccolti: non ci sono ragioni sufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla ed essa viene accettata.

Graficamente:



• Confronto tra i metodi precedenti:

Entrambi i metodi utilizzano lo stesso numero di misure (10) ma il numero dei gradi di libertà risulta essere diverso!

Questo metodo impatta direttamente sull'ampiezza degli intervalli di fiducia. Rivediamoli:

$$\begin{aligned} \text{Metodo A: } \mu_d = \mu_1 - \mu_2 &= (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) \pm t_{18, 0.025} \cdot S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \\ &= -0,1 \pm 2,101 \cdot 2,32 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{10}} = -0,1 \pm 2,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Metodo B: } \mu_d = \mu_1 - \mu_2 &= (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) \pm t_{9, 0.025} \cdot \frac{S_d}{\sqrt{n}} \\ &= -0,1 \pm 2,262 \cdot \frac{1,2}{\sqrt{10}} = -0,1 \pm 0,86 \end{aligned}$$

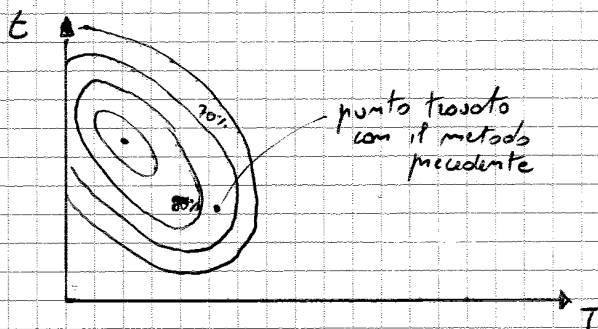
La differenza delle medie è uguale, ma differiamo per la parte seguente.

Più si usano dati per la sperimentazione, più gradi di libertà si hanno, più l'impatto di t si riduce e la distribuzione tende ad appiattirsi. (spinge cioè a restringere l'intervallo di confidenza).



È un buon metodo?

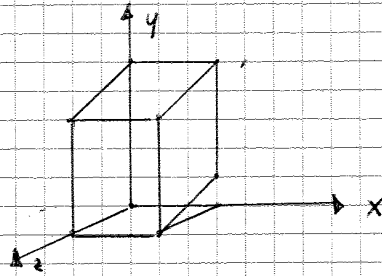
Derivando da un grafico in tre dimensioni ( $u$ ,  $T$ ,  $t$ ) il grafico seguente effettuando dei "tagli" a due costanti:



Sono curve di ISORES

Non è un buon metodo perché si assume, in modo ruotolo, che toccando un fattore alla volta non si influenzano l'altro. Questa sperimentazione difetta nel fatto che non vengono tenuti in conto più parametri (fattori) contemporaneamente.

Supponiamo che ogni lampada possa essere localizzata con 3 coordinate  $(x, y, z)$



Mettendo dei numeri casuali al posto delle coordinate si potrebbero trovare dei campioni accettabili, ma a questo punto nasce un problema logistico. Perché si "va a caccia" di un campione casuale? Lo si fa per controllare nel processo di acquisizione di una fornitura di cui non si conosce la storia.

- Conclusione sugli strumenti

Quelli inventati finora (SPC, DOE, AS) non hanno tutti la stessa efficacia.

Quello meno efficace è il Controllo di Accettazione e il migliore è il DOE: lo si vede dal livello di abbattimento delle variabilità nel grafico seguente:

## • Concetto di servizio

Non esiste a oggi una definizione univoca, ma molteplici:

King (82): bene intangibile, deteriorabile, non immagazzinabile che necessita di un sistema molto complesso di erogazione al quale partecipa il cliente.

Ishikawa (85): ogni lavoro produttivo che non si concretizza in nessun genere di hardware.

ISO 8402 (85): risultato di attività svolte all'interfaccia tra fornitore e cliente e di attività proprie del fornitore, per soddisfare le esigenze del cliente.

Ne nessuna di queste è una definizione operativa: una viene introdotta con la seguente:

Un servizio è un processo costituito da una sequenza logica di attività ben identificabili, analizzabili, valutabili, misurabili. Le fasi che lo compongono sono:

- 1) Rilevazione dei bisogni e delle aspettative del cliente (difficili perché intangibili)
- 2) Definizione dei target prestazionali del servizio
- 3) La definizione dei profili professionali (di chi lo eroga) e l'allocazione delle risorse
- 4) La proiezione qualitativa e quantitativa del sistema di erogazione
- 5) Erogazione
- 6) Gestione del post-servizio e la rilevazione del grado di soddisfacimento del cliente con eventuali azioni di recupero.

Mentre nel settore manifatturiero si identifica con chiarezza il progettista, nel settore dei servizi questo non avviene. Spesso i servizi nascono sotto un progetto suo e proprio, ma semplicemente si individua una necessità e si "improvvisa" qualcosa per soddisfarla.

Questa mancanza di progettazione impatta direttamente sul livello di qualità del servizio ed essa è legata al fatto che i servizi sono "relativamente giovani". (Non c'è una tradizione progettuale).

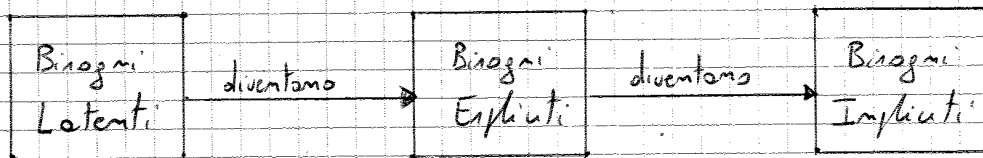
• Classificazione dei bisogni (requisiti) dei clienti  
(U. APOSTOL)

In un prodotto  $\chi$  coesistono, ovvero vi è una sovrapposizione, di tre tipologie di bisogni:

- 1) Bisogni impliciti: aspettative che sono dette più spontaneamente dal cliente. (volente)
- 2) Bisogni espliciti: bisogni che il cliente esplicita con il linguaggio e nelle forme a lui conosciute. (dichiaratore)
- 3) Bisogni latenti: bisogni che il cliente non è in grado di dichiarare fino al momento in cui non ne scopre e verifica i benefici. (motivatore)

I bisogni impliciti sono da soddisfare, quelli espliciti da soddisfare potenzialmente, quelli latenti da anticipare.

Le precedenti definizioni cambiano nel tempo: usi è legato all'invecchiamento del prodotto:



Es. dichiaratore: mi ha non me sentiamo l'igiene, mi ha viene spontaneamente richiesto, oggi è dato più spontaneo.

Chi si occupa di qualità non può prescindere da questa situazione.

Non tutte le scale permettono di fare tutte le operazioni:

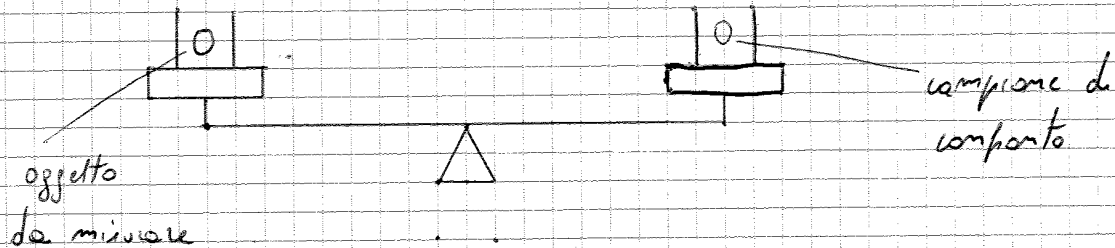
Altre questioni che sorgono:

- cosa vuol dire misurare/volutare un attributo/oggetto?
- volutare e misurare sono la stessa cosa?
- dire che il comport di un ambiente è il doppio di un altro, ha senso?

• Fare una misura

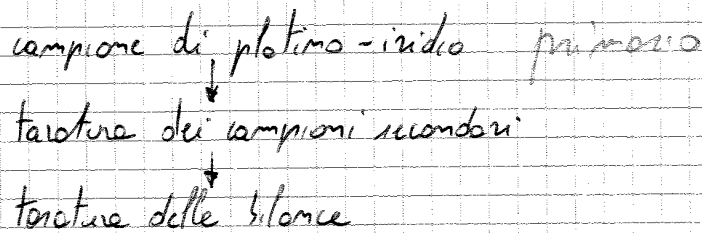
Non esistono procedure ben definite per la misurazione di alcune grandezze (es. spalmabilità, gusto, stilità, ...). *Non esiste una procedura precisa o un fare riferimento (ma oggettivo)*

Per le grandezze misurabili "facilmente" si opera come nello schema seguente:



Si ha dunque una catena di riferibilità metrologica

Ad esempio quando si misura una massa si si collega ad un sistema di misura mondiale:



Gli elementi critici sono i seguenti:

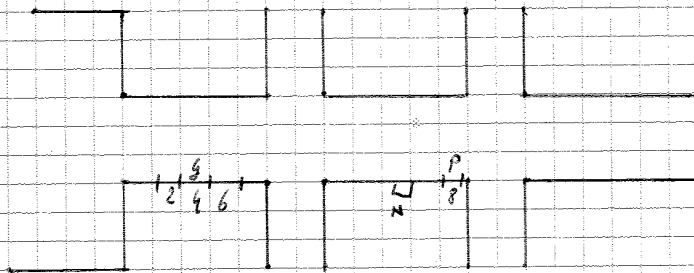
- 1) Passaggio da quella che si ha in testa a quello rilevato nei questionari.
- 2) Attività di Scoping

Queste difficoltà si hanno anche perché le "scale mentali" di

ogni persona non sono allineate (i.e. distanza tra le tacche diverse).

È possibile fare operazioni (i.e. media) su risultati ottenuti da scale diverse? No! Come costruire scale che ricorrono a termini costanti di questi aspetti?

Esempio: due amici G e P abitano nella stessa via. G abita al numero civico 4, P all'8. Si ha un ordine crescente dal centro alla periferia.



Se G e P si danno appuntamento a metà strada, dove si incontrano?

Se guardassimo i numeri si dovrebbe trovare al  $\frac{4+8}{2} = 6$ , ma guardando la topologia il 6 non è a metà strada.

Si può dire che P abita dal centro ad una distanza doppia rispetto di G? Vale lo stesso discorso di prima.

Se vicino al centro il negozio N, che numero civico bisognerebbe assegnargli?

Questi problemi nascono nella toponomastica perché i numeri civici non hanno tutte le proprietà dei numeri "normali".

"Quando i numeri vogliono diventare delle misure, non sempre raggiungono questo scopo".

Per rispondere a questo è nata la...

## ② Sistema numerico o simbolico

Esso si indica con:

$$\mathcal{N} = \langle N, P \rangle$$

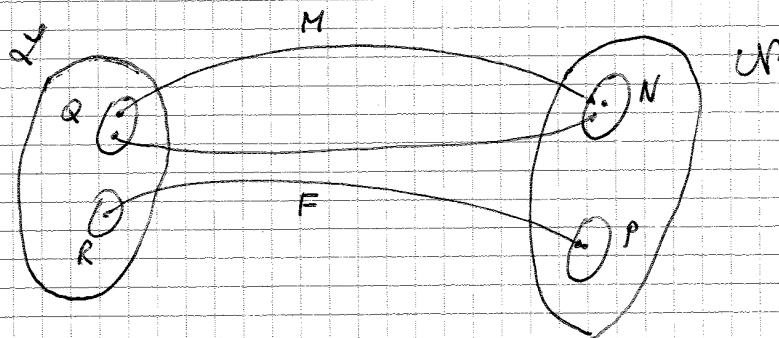
dove  $N$  è un insieme di numeri, es.  $\mathbb{R}, \mathbb{Z}$

$P = \{P_1, P_2, P_m\}$ : insieme di relazioni tra numeri (alta ego di  $\mathbb{R}$ )

## ③ Condizione di rappresentazione

La teoria si occupa di cercare un isomorfismo tra i due mondi. La misura tra un legame tra i due mondi. Se si riuscisse efficacemente a cercare questo legame, si potrebbe evitare di ragionare sugli oggetti fisici (e non) e farlo sui numeri che li rappresentano. Questo legame deve poter soddisfare due condizioni:

- 1) cercare legame tra oggetto fisico e oggetto numerico
- 2) cercare legame tra relazioni fisiche e relazioni matematiche



### a) Legame oggetto fisico/numerico

$M$  è una funzione che lega l'insieme delle manipolazioni all'insieme dei numeri. Dunque

$$M: Q \rightarrow N \quad [\text{OMOMORFICO}]$$

È un legame omomorfico (non univoco) poiché non esiste un sistema numerico con corrispondenza 1:1 con il mondo empirico. Ad esempio più mame possono produrre lo stesso numero



Esempio 2 Si ha un insieme  $A$  costituito da tre oggetti:

$$A = \{a, b, c\}$$

↑  
↑  
↑  
manifestazioni del sistema empirico  $A$

La relazione che esiste è la relazione "vittoria" (i.e.  $aRb$  : a batte b)

Se le relazioni sono:

$$R = \{(a, b), (b, c), (c, a)\}$$

si ha cioè:

- $aRb$   $M(a) > M(b)$
- $bRc$  e si vuole costruire  $M(b) > M(c)$
- $cRa$   $M(c) > M(a)$

È possibile avere il relativo omomorfismo? Esiste una misura che può rappresentarlo? No, perché le tre equazioni violano la proprietà transitiva, sono cioè un set di equazioni circolari:  
 mai non abbiamo un sistema numerico che permetta di farlo, perché gli unici che conosciamo sono orientati, mai circolari.  
 Per questo in tale esempio non si può costruire un omomorfismo.  
 Si conclude che non è sempre possibile costruire un sistema numerico di misura.

NB: La misurazione è un processo di assegnazione empirica ed oggettiva.  
 La misura esiste se entrambe le proprietà esistono. E se così non fosse?

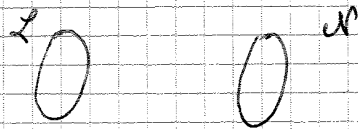
	Oggettività	Empiricità	
Misura	X	X	
Valutazione	-	X	→ es. assegnazione voti agli esami
Preferenza	-	-	→ es. votare alle elezioni (ma si può condividere + oggettività)
Imposizione	X	-	→ es. imposizione di un vincitore di un concorso

L'oggettività molto specifico può essere:

- condizionale: oggettività richiamata da una convenzione
- assoluta: nasce dalla conoscenza assoluta delle cose
- disciplinare: es. su una scala da 10, 6 è la sufficienza



Riprendiamo l'esempio sui questionari sull'impresa A e B.



Da uno stesso sistema empirico  $L$  partono due condizioni di rappresentazione:

-  $H$ : codifica sulle scale "-2, -1, 0, 1, 2"

-  $H'$ : codifica sulle scale "1, 2, 3, 4, 5"

hanno in comune che la distanza tra le tacche è uguale ed entrambe partono allo stesso differenziale. Sono due scale equivalenti, ma come lo dimostro? Possiamo passare da  $H$  a  $H'$  grazie ad una trasformazione lineare del tipo:

$$H' = \alpha + \beta H$$

E si trova che  $\alpha = -3$  e  $\beta = 1$ . Si è passati da un omomorfismo ad un'altro, ma il contenuto informativo non è cambiato. Da un punto di vista delle scale di misura,  $H$  ed  $H'$  sono la stessa cosa.

Dunque ogni scale è caratterizzata da un certo numero di trasformazioni matematiche che ne lasciano inalterata la struttura. Datta  $H$  una fine di misurazione e  $H'$  un'alta fine ottenuta per trasformazione di  $H$ :

$$H' = f(H)$$

si possono identificare le seguenti trasformazioni:

1) Di similitudine  $H' = kH$   $k > 0$

2) Di potenza  $H' = kM^m$

3) Lineare  $H' = a + kH$   $k > 0$

4) Monotona crescente  $H' = f_2(H) \times$  con  $f_2(\cdot)$  monotona crescente

5) Di permutazione  $H' = f_2(H)$  con  $f_2(\cdot)$  fine con sostituzione 1:1 degli elementi

} N.B.: nessuna delle due è un caso particolare dell'altra

Le trasformazioni sono ripartite in ordine di "servizi" crescente.

Una trasformazione è detta più servita di un'altra, se la seconda si può ritenere un caso particolare della prima.

Se nel sistema empirico si ha che  $x > y$ , usi  $\mathcal{L}: x > y$ ,  
nel sistema numerico quale condizione viene rispettata?

In  $\mathcal{N}$ :  $2x+5 > 2y+5 \Rightarrow x > y \Rightarrow \phi$  è ammissibile

Se invece la trasformazione di scala fosse:

$$\phi(x) = -x$$

$$(\phi \circ \pi) = 2(-x) = -2x$$

Verificando la stessa condizione precedente si ottiene che:

$$-2x > -2y \Rightarrow x < y \neq x > y \Rightarrow \phi \text{ non è ammissibile}$$

Passiamo ora in rassegna le principali scale:

## ② Scale Nominali *liste / chi / quasi*

Gli oggetti misurati con una scala nominale sono raggruppati tra loro in modo da costituire membri costituenti della stessa manipolazione della caratteristica in esame. Una scala nominale può essere definita mediante una serie di categorie, mutuamente esclusive, che si distinguono tra loro empiricamente per la diversità delle manipolazioni e, formalmente, per i nomi assegnati e comune di esse.

Il sistema empirico è il seguente:

$$\mathcal{L} = \langle Q, \sim \rangle$$

L'unica relazione empirica esistente tra gli oggetti è quella di equivalenza.

La regola di assegnazione dei numeri agli elementi della scala è quella di non attribuire lo stesso numero ad elementi diversi e non attribuire diversi numeri allo stesso elemento.

La scala nominale ammette tutte le trasformazioni fino a quella più ricca: la permutazione delle categorie.

③ Scala lineare di Intervalli  $\alpha$  /  $\beta$  /  $\gamma$  /  $\delta$  /  $\epsilon$

La scala lineare di intervalli è composta da categorie ordinate, tali che l'entità della manifestazione associata ad una categoria sia maggiore di quella associata alla categoria immediatamente inferiore di una quantità, invariata, che è la stessa che ripete le entità delle manifestazioni associate a tutte le categorie adiacenti.

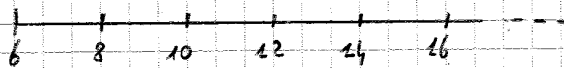
Esa gode delle seguenti proprietà:

- disgiunta tra le categorie:  $A \neq B \neq C \neq D \neq \dots$   $\alpha \neq \beta$
- ordinamento delle categorie:  $A < B < C < D < \dots$
- distanza tra le categorie:  $B-A = C-B = D-C = \dots$   $\rightarrow$  tacche equidistanti

Esempi: 1, 2, 3, 4, 5 ; -2, -1, 0, 1, 2

La scelta arbitraria dell'origine (o zero) ha come conseguenza il fatto che si possa ragionare in termini di relazioni tra intervalli di numeri e non tra i numeri stessi.

Per chiarire il concetto si può ad esempio dire che su una scala lineare di intervalli del tipo:



- la manifestazione misurata con 12 è maggiore di quella misurata con 8 di due intervalli.
- la differenza tra la manifestazione misurata con 14 ed una misurata con 10 è doppia rispetto alla differenza di una misurata con 8 e una misurata con 6

Ma non è corretto affermare che:

- la manifestazione misurata con 12 è il doppio di quella indicata con 6

L'arbitrarietà nell'assegnazione dei numeri alle categorie della scala riguarda due parametri: - unità di misura (intervallo) - origine

Le relazioni e le equazioni matematiche utilizzabili da una scala lineare di intervallo sono:

- uguaglianza
- ordinamento
- sottrazione tra dati
- somma, prodotto, rapporto tra intervalli definiti da coppie di dati

#### ④ Scala Logaritmica di Intervalli

E' composta da una serie di categorie ordinate, tali che i rapporti tra le entità delle manifestazioni associate a due categorie consecutive qualsiasi sono uguali. Esempio di:

- $A < B < C < D \dots$
- $B/A = C/B = D/C = \dots$

L'informazione che si ottiene dice quante volte una manifestazione è più grande di un'altra. Ad esempio in una scala:

A	B	C	D	E
2	6	28	54	162
$\log_3 2$	$\log_3 6$	$\log_3 28$	$\log_3 54$	$\log_3 162$

è un errore affermare che D supera B per 48 unità, mentre è corretto dire che D è superiore a B di 9 volte

$$D/B = 54/6 = (C/B)^2 = (28/6)^2 = 3^2 = 9$$

Se si sostituiscono ai numeri associati alle categorie i rispettivi logaritmi, si ottiene una scala con la struttura di intervallo:

- $\log A < \log B < \log C < \dots$
- $\log C/B = \log D/C = \log E/D = \dots$
- $\log C - \log B = \log D - \log C = \log E - \log D = \dots$

E' questa la ragione per la quale la scala è denominata logaritmica di intervallo

• Stessa grandezza ... più scale di misura.

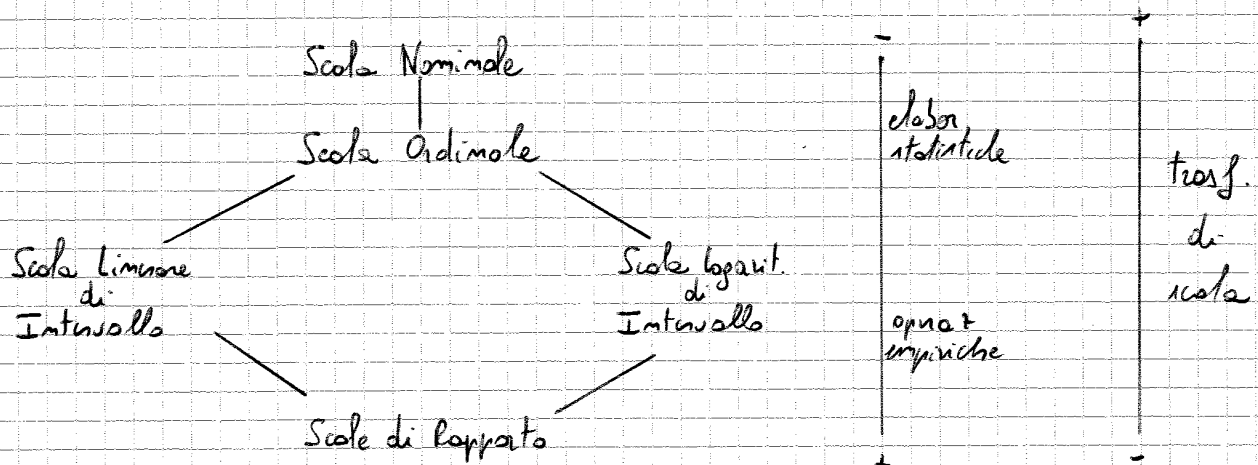
Una stessa grandezza può essere misurata in un solo modo?

No, ed un esempio lampante è quello della  $m$  temperatura, che può essere codificata sia attraverso una scala lineare di intervalli (gradi Celsius) e una di rapporto (gradi Kelvin).

Questi ragionamenti possono essere fatti anche grandezze non fisiche, ad esempio il "Livello di Istruzione":

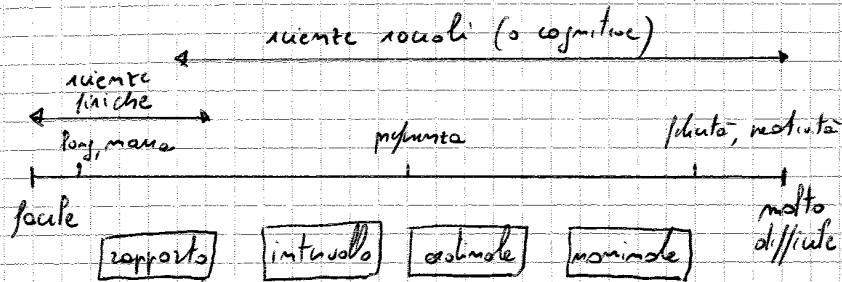
- Misura Nominale  $E H S U$
- Misura Ordinale  $E < H < S < U$
- Misura su scala di intervalli: età dei soggetti
- Misura su scala di rapporto: # anni di studio

• Comporto tra scale



Più una scala ha un sistema relazionale ricco, più sono le proprietà di cui questa scala gode e più è "raffinato" il modo con cui posso trattare i dati. Es scale di rapporto sono ricche e permettono di tracciare enunciati importanti, ma al contempo sopportano minori trasformazioni.

• Gradi di difficoltà nel processo di misurazione



Quando si è intrasati a grandette fisiche, oggi si ha una diretta facilità nel produrre delle scale di rapporto o intervallo.

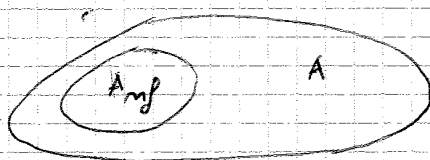
Più quello che si vuole misurare è filtrato dai nostri sensi, più difficile sarà fare delle misure.

■ Elementi del processo di misurazione della qualità

Sorgono a questo punto dei problemi:

- ① Cosa vuol dire misurare un cliente/utente?
- ② Quando si presenta un questionario, si misura un oggetto o un soggetto?
- ③ Data un prodotto/servizio, se si è in grado di misurarlo tutti gli attributi, si può risalire ad una misura complessiva dello stesso?

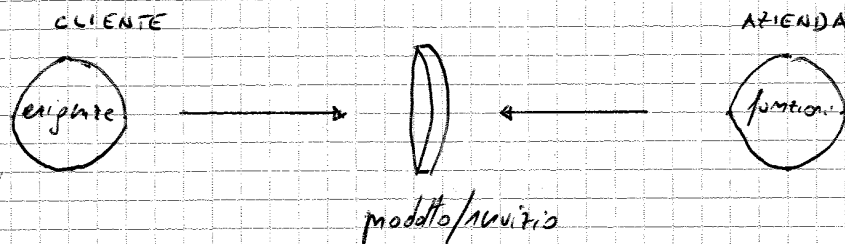
Quando si omnia un prodotto, si deve avere la consapevolezza che esso ha sia attributi fisici sia non fisici:



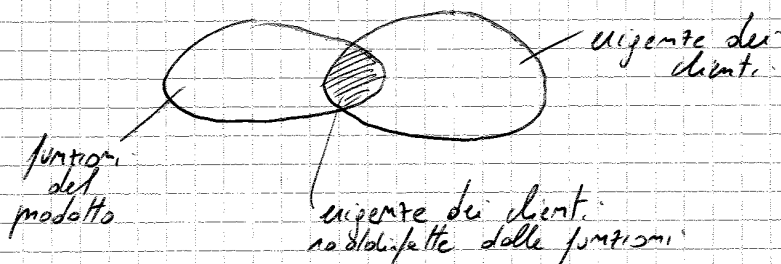
dove  $A$ : insieme degli attributi di un prodotto  
 $A_{mf}$ : insieme degli attributi non fisici

## ② Minuzazione Cliente / Utente

La minuzazione del cliente/utente consiste nella valutazione di ciò che cliente/utente percepisce e sperimenta durante l'utilizzo di un prodotto/servizio. Perché gli attributi di un prodotto sono progettati per soddisfare i bisogni di chi lo usa, più le prestazioni sono elevate, maggiore è il beneficio che ne trae. Per l'azienda il prodotto deve promuovere funzioni tali da incontrare le esigenze dei clienti. Per il cliente il prodotto deve garantire prestazioni in grado di soddisfare i propri bisogni. Dunque



Tanto più i due mondi si intersecano, tanto più si ha soddisfazione, infatti.



I requisiti del cliente possono essere catturati con i questionari.

"Minuzare il cliente" significa quindi non solo valutare il livello delle prestazioni che egli riceve dal prodotto, ma anche ricavare informazioni su quali attributi sono ritenuti più importanti e di quanto.



Questa classificazione identifica tre punti di vista:

- a) Approccio centrato sullo stimolo: attribuisce la variazione sistematica delle risposte alle differenze esistenti tra gli oggetti (stimoli)
- b) Approccio centrato sul sogetto: attribuisce la variazione sistematica delle risposte alle diversità dei sogetti.
- c) Approccio centrato sulle risposte: attribuisce la variabilità sistematica delle risposte ris alle diversità tra i sogetti che è quella tra gli oggetti.

### ③ Misurazione delle prestazioni e dell'importanza degli attributi

Poiché un prodotto può essere pensato come un insieme di attributi, si può pensare di ottenere la sua prestazione complessiva dalla combinazione delle singole componenti. Questa operazione porta a definire:

- a) l'esistenza di una relazione gerarchica degli attributi;
- b) la possibilità di aggregare misure di oggetti di livello detto più basso per ottenere misure di oggetti di livello gerarchico superiore.

### (a) Relazione Gerarchica

I livelli della gerarchia sono generalmente tre:

	attributi di primo livello <u>STRATEGICI</u>	attributi di secondo livello <u>TATTICI</u>	attributi di terzo livello <u>OPERATIVI</u>
PRODOTTO			



Verifichiamolo attraverso prima una trasformazione di similitudine e poi una lineare applicate all'enumerato

$$V_p = \sum p_i V_i$$

- Transf. di similitudine:

$$\phi(x) = \alpha x$$

$$\Rightarrow (\phi \circ V_p) = \alpha V_p = \sum p_i \alpha V_i$$

$$= \alpha V_p = \alpha \sum p_i V_i \Rightarrow \text{enumerato rimane valido}$$

Sopprimendo una trasformazione di similitudine, si può affermare che pensano esse misurati (gli attributi) su una scala di rapporto. Aumentando la severità del test:

- Transf. Lineare

$$\phi(x) = \alpha + \beta x$$

$$\Rightarrow (\phi \circ V_p) = \alpha + \beta V_p = \sum p_i (\alpha + \beta V_i)$$

$$= \alpha + \beta V_p = \sum (\alpha p_i + p_i \beta V_i) \Rightarrow \text{enumerato non è più valido}$$

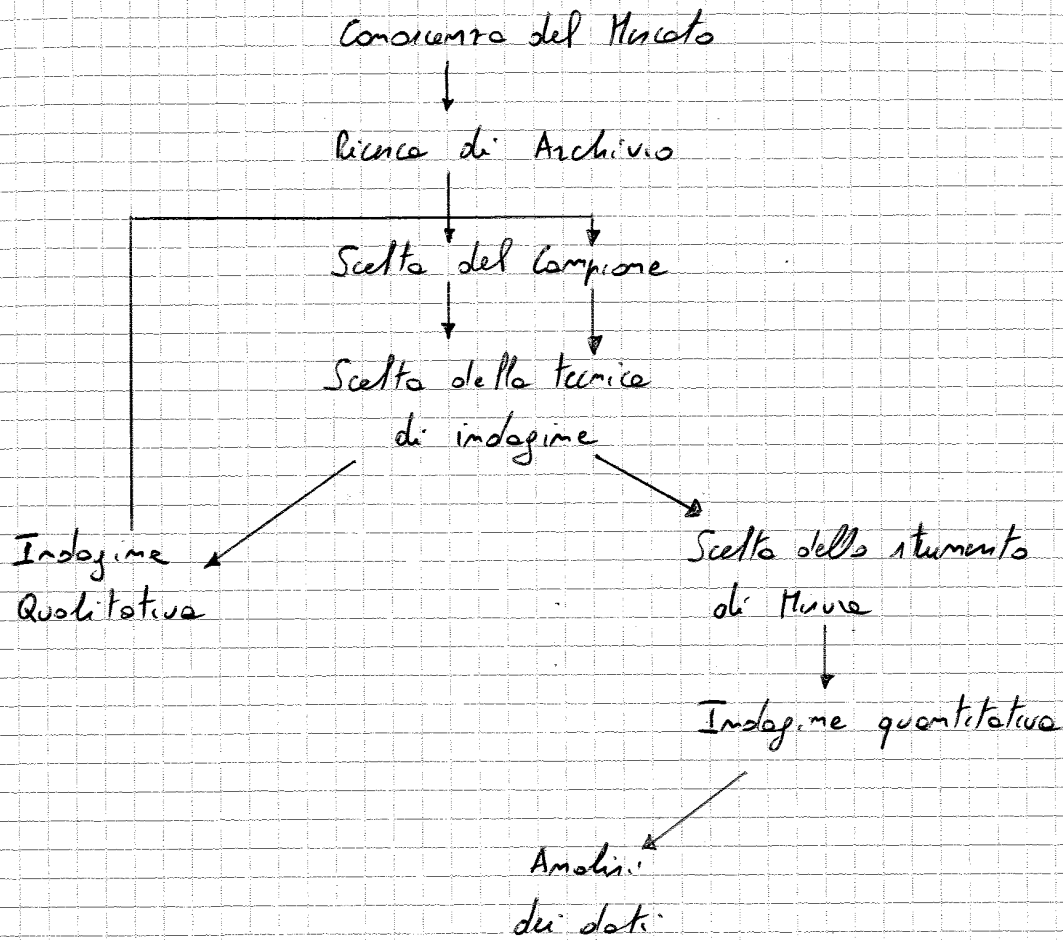
Non si può dunque utilizzare una scala lineare di intervallo, poiché tale trasformazione non viene supportata. Non è neanche possibile utilizzare una scala logaritmica di intervallo, poiché applicando all'enumerato una trasformazione di potenza, esso perderebbe di validità. Infatti:

$$\phi(x) = \alpha x^m$$

$$(\phi \circ V_p) = \alpha V_p^m = \sum p_i \alpha V_i^m$$

$$= \alpha V_p^m = \alpha \sum p_i V_i^m \Rightarrow \text{enumerato non valido}$$

Invece le fasi che accompagnano lo sviluppo di una ricerca di mercato completa:



L'obiettivo vitale per l'impresa è la modifica di  $Q_p$ , con da portarla a coincidere con  $Q_0$ .

Poiché  $Q_0$  è una variabile dinamica in continuo movimento per il libero gioco delle componenti, l'innovazione non può che avere lo stesso carattere di dinamicità.

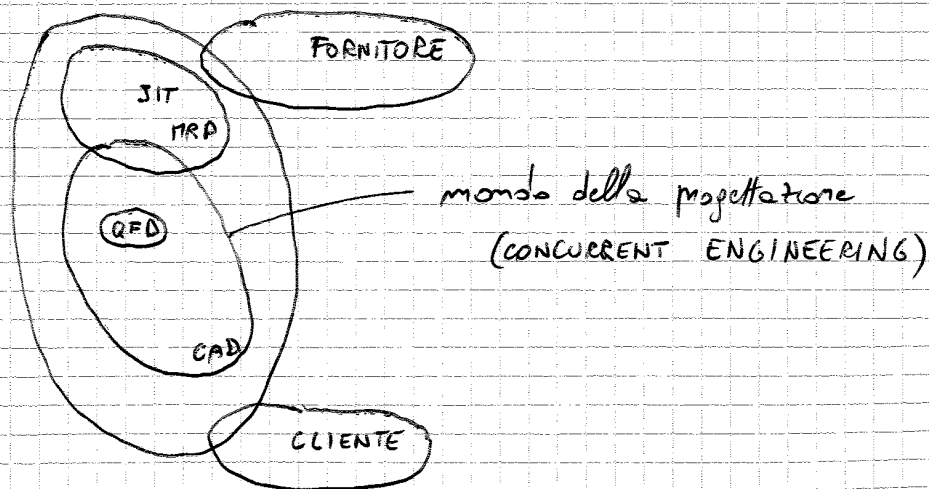
La singola impresa, alveato il  $\Delta Q$  tra  $Q_0$  e  $Q_p$ , ottiene due azioni complesse:

- una diretta a condizionare il cliente nel senso sia di modificarne in positivo il giudizio nei confronti della  $Q_0$  (miglioramento di  $Q_p$ ), sia di promuovere l'acquisto di  $Q_p$  come  $Q_0$ .
- una tecnica a sviluppare una serie di interventi (interni ed esterni) di tipo tecnico organizzativo finalizzati ad ottenere una  $Q_0$  realmente superiore.

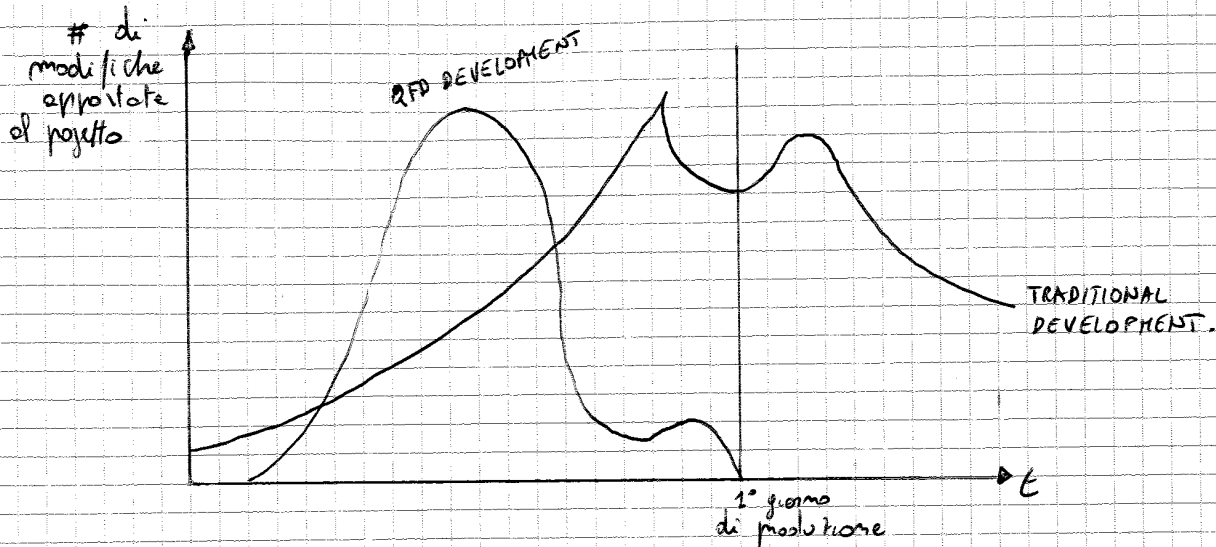
Questo processo può sintetizzarsi in due anelli di retroazione:

- contenuto comunicativo-persuasivo: gestito dalla funzione di marketing, con l'obiettivo di modificare  $Q_p$
- contenuto ingegneristico-organizzativo: come obiettivo il miglioramento di  $Q_0$ .

Dove si colloca il QFD all'interno dell'impresa?



Paragonando nel settore automotive il caso in cui vi sia <sup>non</sup> concurrent engineering e il caso in cui sia presente:



Il QFD consente di espletare il numero di mesi, cercando di essere attenti fin da subito, concentrando le attività di modifica molto prima dell'immissione sul mercato, annullando quasi gli effetti di primo giorno.

• Perché esiste il QFD?

Esso definisce le caratteristiche del prodotto che rispondono alle reali esigenze del cliente, e non a quelle presuppunte o preventivate. Esso:

- a) Permette di codificare su "moduli" appositi tutte le info necessarie allo sviluppo di un prodotto (strumento sintetico ma ricco)
- b) Permette di effettuare un'analisi comparativa con le prestazioni dei prodotti della concorrenza (analisi comparativa del profilo del prodotto).
- c) Garantisce coerenza tra le esperienze manifestate dal cliente e le caratteristiche misurabili del prodotto, senza trascurare alcun punto di vista.

L'efficacia del QFD passa attraverso un'organizzazione aziendale strutturata: le imprese che utilizzano questo strumento hanno dei team, assegnati ad ogni progetto, transversali ovvero che permettono di seguire ogni istante del ciclo vita del prodotto.

### • Product Planning Matrix

È una matrice nella quale:

- sulle righe sono riportati i customer requirement
- sulle colonne sono riportati i product design requirement

Così si mette a confronto il cosa con il come (chi vuole qualcosa -> cliente; chi deve progettare qualcosa -> progettista).  
Questo legame è un collegamento funzionale che viene codificato prima simbolicamente poi matematicamente.  
Graficamente:

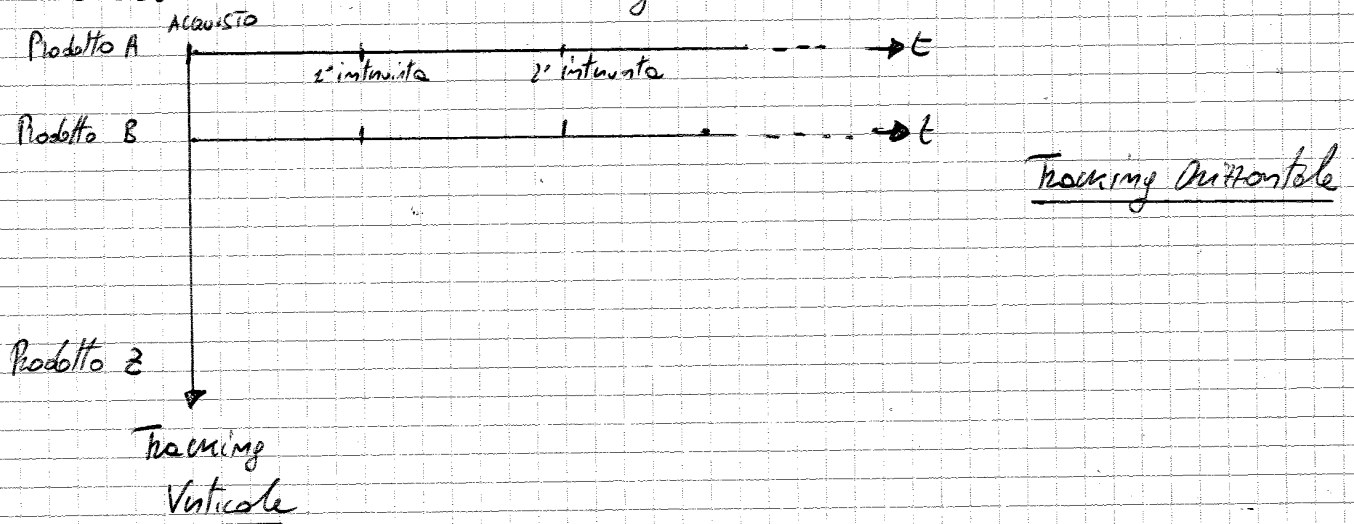
Spesso chi usa un prodotto non è una persona "tecnicamente competente", dunque i dati grezzi raccolti tra i clienti attraverso le interviste (VOC: Voice of Customer) devono essere in qualche modo codificati per il tecnico che dovrà progettare il prodotto.

## Parentesi fuori dal QFD

Quando un'azienda mette un prodotto sul mercato, essa ha il problema di capire se l'utilizzatore è contento o meno.

Come si tiene quindi sotto controllo la Customer Satisfaction nel tempo? Il mercato modifica l'intenere per il prodotto nel tempo, ma quali sono i fattori che portano all'insoddisfazione del cliente?

Esiste la possibilità di costruire un Quality Tracking, al fine di capire l'evoluzione della Customer Satisfaction, attraverso l'utilizzo di interviste/questionari via via più specifici e declinati. Solitamente l'indagine avviene su due livelli:



Con il tracking orizzontale, fissato un certo prodotto, si osserva la variazione della Customer Satisfaction di un certo campione di clienti.

Con il tracking si osserva invece l'evoluzione della Customer Satisfaction relativa all'intero mix produttivo dell'impresa (= > in aggregato)

Per ogni sottoinsieme si definisce un indice di criticità  $IC_i$

$$IC_i = g_i \cdot F_i$$

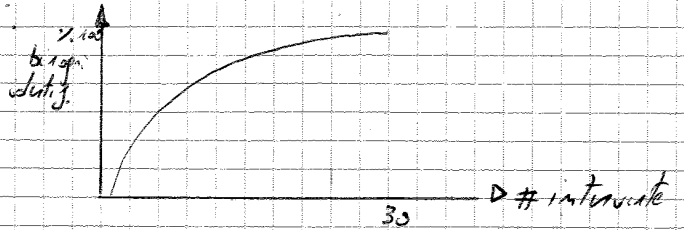
dove  $g_i$ : gravità  
 $F_i$ : frequenza

Questo indicatore viene monitorato nel tempo e in base ad esso



Come identificare i requisiti del cliente? Sono state sviluppate diverse tecniche tra cui:

- intervista personale: una delle tecniche più usate ed efficaci; producono materiale prezioso su cui lavorare. Si è dimostrato che 20-30 interviste sono sufficienti per coprire la maggior parte dei requisiti.



- gruppi di intervista: 6-8 clienti parlano dei propri bisogni;
- tecniche qualitative strutturate: considerazioni sui problemi prendendone tre alla volta
- tecniche di analisi di prodotto: decisioni sul metodo d'acquisto

Abbiamo in precedenza classificato i bisogni come implici, espliciti, latenti, ma il modello di KANO raffina questo concetto identificando 5 categorie di attributi qualitativi definiti dal cliente:

- B (Basic): devono essere meccanicamente presenti; fanno parte della QA
- O (One Dimensional): "più ce n'è, meglio è"
- E (Excitement): differenziano dalla concorrenza; sono quelli che attraggono
- I (Indifferent): presenza o assenza non cambia nulla
- R (Reverse): "meno ce n'è, meglio è".

Si sono poi sviluppati diversi metodi per misurare l'importanza che viene data ai singoli attributi di un prodotto da parte dei clienti:

- scelta diretta del peso di ogni bisogno
- valore 1-5 per ogni bisogno
- misura a somma costante
- ecc.

Applicando all'esempio (solo 1° colonna, il resto è uguale)

a)  $0 = 9, 0 = 3, \Delta 1$

b)  $3 \times 14 = 42; 1 \times 44 = 44; 1 \times 13 = 13$

c)  $42 + 44 + 13 = 105$

c.2) Dalle altre colonne si ottiene 465, 333, 213

d)  $\frac{105}{105+465+333+213} = 9\% \rightarrow$  peso relativo della caratt. "Lunghezza".

### • Riflessioni

Se si fosse utilizzata una codifica diversa probabilmente si sarebbe arrivati ad un risultato diverso. Come scegliere dunque? Quella usata nell'esempio è esponentiale ed è stata scelta poiché le percezioni umane seguono un'intensità esponentiale, quindi trova una giustificazione fisica. Poiché

$$0 > 0 > \Delta$$

anche la codifica che sceglieremo dovrà garantire questa proprietà.

Introducendo più dei valori memoria si immette una "distanza" tra i simboli che prima non c'era. Questa codifica viene più utilizzata, quando corri al contempo che l'operazione fatta non è letta, perché permette di semplificare la gerarchizzazione. Se si cambia la codifica, mantenendo però l'ordinamento, l'ordine finale rimane di solito invariato, ma questo è un metodo abbastanza robusto.

Anche cambiando codifica pur mantenendo l'ordinamento non si può garantire il come reveal.



## ◦ Comportamento Tecnico (parte bassa della HoQ) - Qo

Utilizzandosi le info contenute nella matrice delle relazioni è possibile, partendo dalla scala di priorità delle esigenze del cliente, determinare un'omologa scala di importanza o di priorità per le caratteristiche del prodotto.

L'importanza di ciascuna caratteristica è valutata in base:

- importanza delle richieste del cliente alle quali è correlata
- al livello di tale correlazione
- al grado di difficoltà realizzativa.

Il metodo classico, già accennato con l'esempio della matita, è l'Independent Scoring Method, usato per ordinare le caratteristiche tecniche di un prodotto. Esso prevede:

- 1) Scelta di convenzione del simbolo  $\bullet, \circ, \Delta$
- 2) Calcolo del livello di importanza  $w_j$  di ognuna delle caract. tecniche

$$\text{Valore Anzitutto caract. Tecnica } j = \sum_{i=2}^m (\text{imp. relat. } i) \cdot (\text{relat. cond. requ. } i \text{ e caract. } j)$$

$$w_j = \sum_{i=2}^m d_i \cdot r_{ij} \quad \forall j \text{ (per ogni colonna)}$$

- 3) Calcolo dell'importanza relativa di ogni caract. tecnica:

$$w_j^* = \frac{w_j}{\sum_{j=2}^m w_j}$$

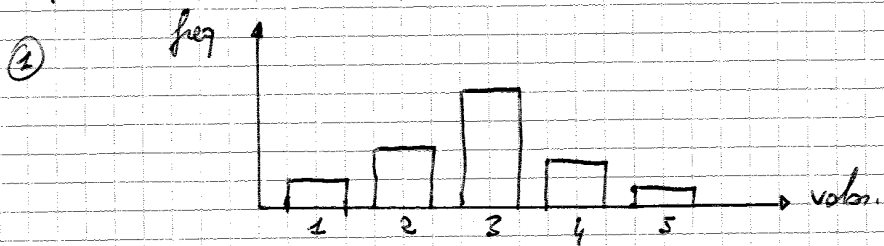
Esso rappresenta l'importanza che, indistintamente, il cliente attribuisce a ciascuna caratteristica del prodotto e può essere utilizzato per facere una graduatoria del livello di "attenzione" che il progettista deve riservare alle caratteristiche tecnico-ingegneristiche in fase di progetto.

• Questionario

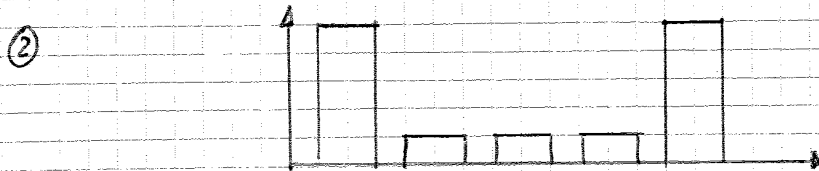
Il questionario da sottoporre ai clienti al fine di raccogliere informazioni sulla loro percezione è così strutturato:

Elementi di qualità del Prodotto	Importanza Attribuita	Valutazione per Azienda
es. Focale da Tenere	1 — 5	attuale 1 — 5 come X 1 — 5 come Y 2 — 5

Come trattare poi i dati raccolti attraverso un certo campione di clienti?  
 Come sintetizzare le risposte per usare valori numerici nel QFD?  
 È possibile che i dati raccolti ci portino a grafici seguenti:



In questo caso l'utilizzo della media potrebbe portare ad un valore che non fa parte dei numeri interi. In questo caso la moda o la mediana porterebbero a risultati più soddisfacenti.



In questo caso l'utilizzo della media e della mediana (50° centile) sarebbe scemato. Si sta cercando un valore rappresentativo del campione, ma il valore medio qui è il meno rappresentativo. Da questo, risultano essere due popolazioni, dunque il questionario non è stato creato nel modo corretto.

## • Formulazione del problema

Il problema può essere definito come "selezionare un nuovo prodotto (profilo) confrontabile e "migliore" dei profili dei concorrenti".

Definiamo: -  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$  l'insieme finito delle potenziali alternative selezionabili.

-  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_m\}$  insieme di caratteristiche tecniche (o v. t. n.) che qualificano il prodotto

Ciascun vettore  $g_j$  viene considerato come un'applicazione da un insieme  $A$  ad una scala  $E_j$ , rappresentando quest'ultima un insieme completo ordinato di valori (quant/qual) che definiscono i possibili stati associati al vettore  $j$ -esimo:

$$g_j: a \in A \Rightarrow g_j(a) \in E_j$$

Ogni  $g_j$  è dunque un mezzo di comunicazione tra una caratteristica e una scala di misura.

Si può dunque dire che:

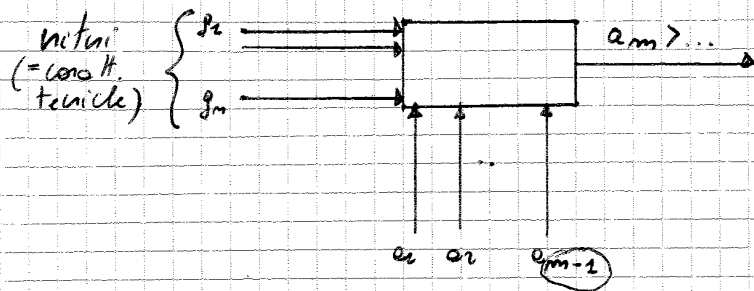
$$[g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a)]$$

è la rappresentazione di un'alternativa nell'iperspazio  $I$ , definito come:

$$I = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_m$$

Il problema della scelta di un'alternativa  $g^*(a) = [g_1^*(a), \dots, g_m^*(a)]$  che sia "migliore delle altre (e che minimizzi l'utilizzo delle risorse) può essere formulato come segue:

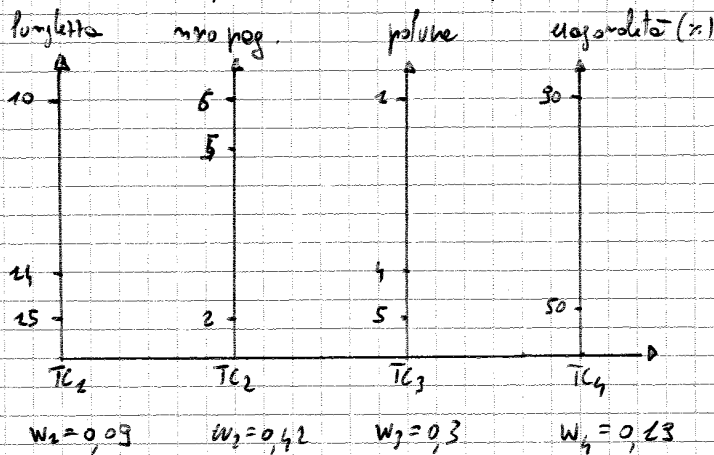
■ Nuovo caso



Questo problema decisionale è detto inverso (problema del costruttore) nel quale, basandosi su alternative esistenti e su caratteristiche tecniche, si deve creare una nuova alternativa che superi le altre.

• Algoritmo di Soluzione: Qbench

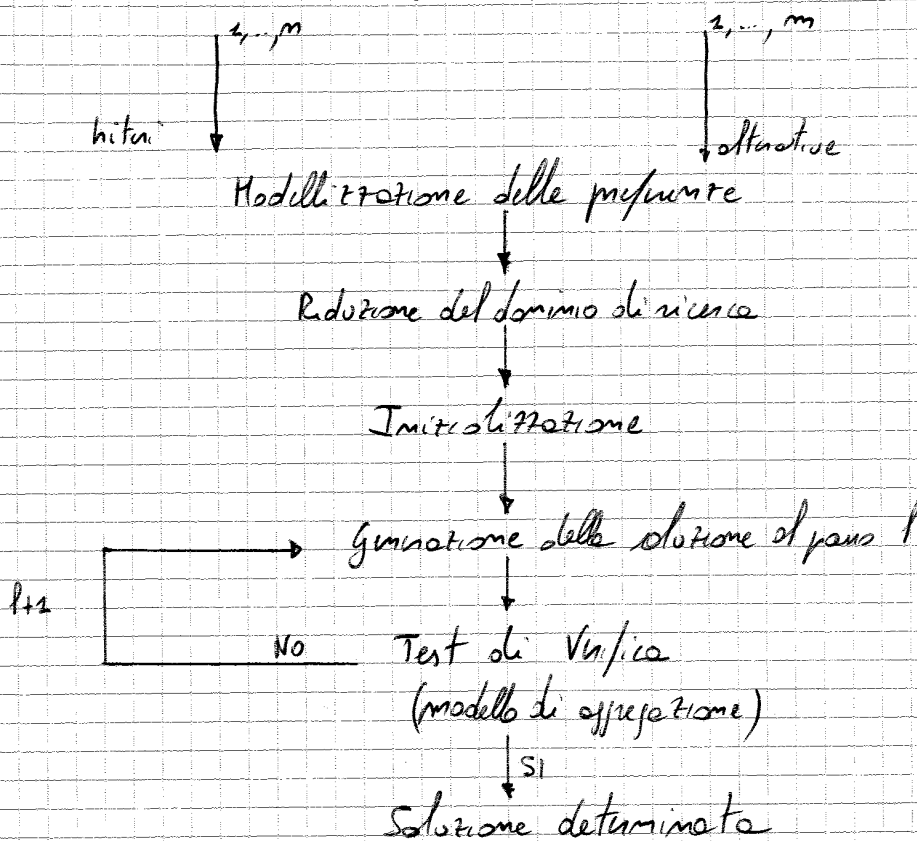
Applicato in maniera pratica all'esempio della matita.



Osservazioni :

- a) In ogni scala vengono considerati solo alcuni punti, dovuti a condizioni di progettualità che sono standard di fatto emersi sul mercato. Spesso gli estremi della scala sono dettati dalla tecnologia, i valori intermedi spesso sono quelli occupati dai concorrenti. Utilizzando standard di fatto si è effettuata una trasformazione del dominio da continuo a discreto.

Schematicamente l'algoritmo:



### ■ Tecniche di Supporto al QFD

Grandi dimensioni della HoQ portano inevitabilmente ad ottenere la visibilità e quindi ad abbattere la capacità di analisi delle informazioni in esse contenute. Esistono metodi che:

- ① facilitano il riempimento della tabella di correlazione tra le caratteristiche tecniche (tetto della HoQ)
- ② individuano l'insieme minimale di caratteristiche tecniche che sono in relazione con tutti i requisiti del cliente.

In un esempio pratico:

$$R = \begin{pmatrix} \bullet & 0 & \\ & \Delta & 0 \\ & & \end{pmatrix} \Rightarrow B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

(matrice delle relazioni)      Matrice Simbolica      Matrice Binaria

Le colonne  $b_i$  vengono a questo punto normalizzate, secondo dei vettori.  
La normalizzazione avviene attraverso:

$$\frac{\vec{v}_i}{|\vec{v}_i|}$$

dove  $|\vec{v}_i|$  è il modulo del vettore calcolato come  $|\vec{v}_i| = \sqrt{\sum_j b_{ij}^2}$   
Dunque per ogni colonna gli elementi di normalizzazione sono

$$\text{Per } b_1: |\vec{v}_1| = \sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2} = \sqrt{2}$$

$$\text{Per } b_2: |\vec{v}_2| = \sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2} = \sqrt{2}$$

$$\text{Per } b_3: |\vec{v}_3| = \sqrt{0^2 + 1^2 + 0^2} = \sqrt{1} = 1$$

La matrice normalizzata a questo punto sarà:

$$N = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 \\ 1/\sqrt{2} & 0 & 1 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & 0 \end{pmatrix}$$

A questo punto si può trovare la matrice Q attraverso

$$Q = N^T \cdot N$$

Esa esprime il grado di dipendenza indotta tra caratteristiche tecniche con riferimento al modo in cui queste influenzano i requisiti del cliente.

A questo punto si ipotizza che, laddove ci sia una proiezione "motusale", le due caratteristiche influenzino gli stessi requisiti e che dunque ci sia una potenziale correlazione.

Questo metodo produce un risultato meccanico ma non sufficiente: ancora a questo punto il progettista prende in mano le caratteristiche che mostrano una potenziale correlazione e decide se esse sussiste realmente o meno.

## ② Insieme minimale di caratteristiche

In alcune circostanze è importante definire qualcosa di insieme minimo di caratteristiche tecniche in grado di "intrinseco" con tutti i requisiti del cliente. Questa azione può essere utile per dare una prima risposta globale a tutti i desiderata del cliente, senza essere influenzato dalla dipendenza tra le caratteristiche. Si rivela inoltre di estrema utilità quando si decide guardare l'attenzione porta alle semplici fasi di sviluppo di un progetto.

La ricerca di questo insieme è un classico problema di ottimizzazione combinatoria, codificato con il nome di Set Covering Problem.



Nei metodi classici vengono date due alternative a confronto e quello che può succedere è:

$a P b$  :  $a$  è preferita a  $b$

$b P a$  :  $b$  è preferita ad  $a$

$a I b$  :  $a$  è indifferente a  $b$

dove l'alternativa  $a$  è espressa dal vettore delle prestazioni sugli  $n$  criteri:

$$g(a) = [g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)]$$

I metodi MCDA introducono il concetto che non è così facile affermare che un'alternativa è migliore di un'altra ed introducono una relazione binaria su  $A$  detta relazione di sovraccamento e indicata con  $S_A$ . Essa è introdotta per rappresentare situazioni di preferenza tra due alternative qualsiasi  $a$  e  $a'$  in cui la "preferibilità di  $a$  rispetto ad  $a'$ " può essere ragionevolmente ammessa tanto che esistono buone ragioni per rifiutarla.

Implicazioni di Electre II:

- si cercano e coglie situazioni progettuali difficili
- non vale la proprietà transitiva, può avvenire infatti contemporaneamente che  $a S a'$  e che  $a' S a''$ .
- esistono casi di non comparabilità tra alternative.

$$b) \frac{W^+(a, a')}{W^-(a, a')} \geq 1$$

Questa condizione è introdotta per assicurare che i valori su cui "a" è migliore di "a'" sono più importanti di quelli per cui "a'" è migliore di "a".

### ② Test di non discordanza

Questo test viene introdotto per tenere conto di eventuali situazioni di veto. Ad esempio

$$\begin{cases} g_j(a) \leq e_1 \\ g_j(a') \geq e_2 \end{cases}$$

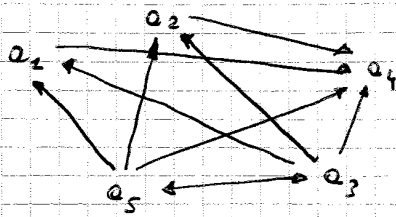
Se le valutazioni delle alternative a e a', rispetto al criterio j, ricadono rispettivamente in  $e_1 \leq e_2$  e  $e_1' \geq e_2$  le due alternative diventano non comparabili e scatta il veto. Il test di non discordanza delimita intervalli di non comparabilità.

Prima di passare notiamo (e sottolineiamo) una differenza importante:

Qbemsch: Caratteristiche Tecniche → Criteri  
 Concomenti → Alternative

MCDA: Requisiti → Criteri  
 Caratteristiche Tecniche → Alternative

L'ultima colonna viene utilizzata per creare un grafo che metta in collegamento le varie alternative:



Grafo delle Preferenze

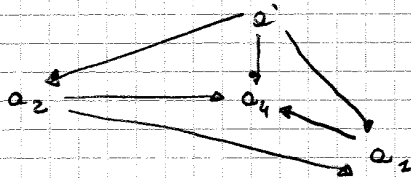
Esso può presentare dei cicli proprio perché non è presente la proprietà transitiva. Nel nostro caso:

$$a_3 \succ a_5$$

$$a_5 \succ a_3$$

Non potendo discriminare le due alternative, le si considera insieme in un nodo  $\{a_3, a_5\} = a'$ . La presenza di più o meno cicli è dovuta alla scelta della soglia  $\kappa$  del Dk: più sarà alto  $\kappa$ , più sarà "rusto" il grafo.

Domque il primo passo è eliminare i cicli:



A questo punto:

- a) Trovare alternativa che non è superata da nessuno.
- b) Selezionarla, toglierla dal grafo, togliere le relative frecce, ridirezionare il grafo. Tornare ad a). Stop se le alternative sono finite.

## ■ Indicatori

Gli indicatori vengono impiegati in variati ambienti:

- previsioni
- controllo e misura delle prestazioni
- analisi costi/benefici
- rapporto alle decisioni

Gli indicatori vengono utilizzati quando non si sa decidere in maniera adeguata un processo. Essi consentono di affrontare l'enorme flusso di dati che ruota intorno ad un sistema. Gli elementi che influenzano la costruzione di modelli sono:

- Tipologia e proprietà dei dati raccolti
- Natura di Analisi
- Modalità di validazione
- Finalità
- ...

Una via di fuga da questi modelli sono appunto gli indicatori; cioè strumenti sintetici che descrivono fenomeni complessi.

Esistono regole generali per un'adeguata costruzione?

La costruzione dipende da:

- scopo
- completezza del fenomeno
- modo da risolvere (determina uno sb. di rif. normativo, ...)

Un indicatore dovrebbe essere:

accurato	completo
riproducibile	tempestivo
efficace	facile da rilevare
facile da utilizzare	economico
⋮	⋮

$$a) ALI = \frac{\text{Adulti Alfabetizzati}}{\text{Adulti Totali}} \in [0,1]$$

$$b) ERI = \frac{\text{Giovani frequentanti}}{\text{Giovani Totali}} \in [0,1]$$

Il calcolo dell' EAI avviene poi come media pesata:

$$EAI = \frac{2 \cdot ALI + ERI}{3} \in [0,1]$$

### ③ GDPi

Questo indicatore richiede un adattamento, poiché il valore di un dollaro (leggi di utilità marginale) per un soggetto che ne guadagna 200 è diverso da un dollaro che ne guadagna 10000.

Fino al 2003 il reddito veniva trasformato attraverso l'algoritmo di Atkinson:

$$W(y) \begin{cases} y & \text{se } 0 < y < y^* \\ y^* + 2 [(y - y^*)^{2/3}] & \text{se } y^* < y < 2y^* \\ y^* + 2(y^*)^{2/3} + 3 [(y - 2y^*)^{2/3}] & \text{se } 2y^* < y < 3y^* \\ \vdots & \vdots \end{cases}$$

dove:  $y$  è il reddito pro capite

$W(y)$  è il reddito trasformato

$y^* = 5835$  : media annua mondiale; varrà per l'anno di rif.

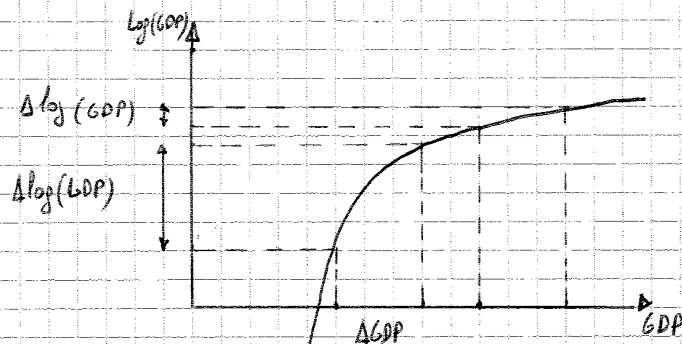
$$W(11265) = 5835 + 2 \left[ (11265 - 5835)^{1/2} \right] = 5982$$

$$GDP1 = \frac{W(11265) - W(100)}{W(40000) - W(100)} = \frac{5982 - 100}{6254 - 100} = 0,972$$

$$HDI = \frac{0,88 + 0,318 + 0,972}{3} = 0,923$$

### • Variazioni del 2003

Nella nuova versione dell'HDI, la funzione utilizzata per l'adattamento nel calcolo del GDP1 diventa il logaritmo:



Pari incrementi della funzione reddito adattato ( $\log(\text{GDP})$ ) determinano piccoli scostamenti del GDP pro capite se il reddito è basso, oppure elevati scostamenti di GDP se il reddito è elevato. Matematicamente:

$$GDP1 = \frac{\log(\text{GDP pro capite}) - \log(100)}{\log(40000) - \log(100)}$$

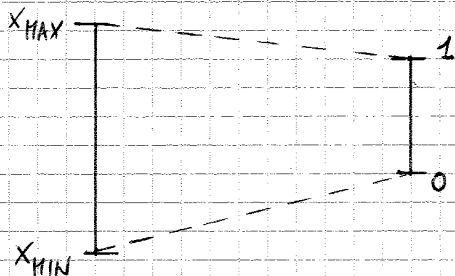
Applicando alla Grecia avremmo un  $GDP1 = 0,783$

Cambiando le regole di adattamento si giunge a risultati diversi e inoltre i valori calcolati prima del 2003 non saranno confrontabili con i successivi. Il cambio di queste regole ha implicazioni fortissime, si pensi se utilizzato per decidere l'allocazione di fondi finanziari.

La normalizzazione riporta i valori misurati in un intervallo  $[0,1]$ . Essa anche fatta quando i fenomeni hanno un andamento lineare, ma spesso viene utilizzata anche quando non è così.

Essa evita un effetto di compressione asimmetrica verso i valori estremi della scala portandoci dietro il rischio che la differenza tra fenomeni diversi ma vicini agli estremi non sia apprezzabile.

La normalizzazione è un processo condotto per poter fare una comparazione anche tra oggetti differenti in natura. Graficamente può essere schematizzata come:



Se la funzione di trasformazione è lineare si parla di normalizzazione, altrimenti di scalizzazione. La normalizzazione avviene tramite:

$$y_i = \frac{y_i - 0}{1 - 0} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Ma questa relazione per quali dati, quali categorie di scala, può essere applicata?