



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# INTRODUZIONE AL DOE come strumento di sviluppo prodotto

*Francesca Campana*  
*Parte 1*



# Introduzione al DOE

## Storia

'20-'30 sir Ronald Fisher

Pone le basi del DOE elaborando una larga mole di dati sperimentali del settore agricolo (*Studies in Crop Variation*). A lui si deve il test di Fisher ed i principi di base del DOE ('25 - *Statistical Methods for Research Workers*).

'50 G.E.P. Box e K. B. Wilson

Impegnati nell'industria chimica danno impulso al Metodo della Superficie di Risposta discutendo applicazioni DOE in casi caratterizzati dall'immediatezza di risposta per cui è possibile prevedere applicazioni iterative.

'70 Genechi Taguchi

Introduce il concetto di Robust Design e off-line quality control imponendo il DOE come strumento di progetto per la Qualità.

'90 ... Statistical approach for Quality

Dopo ampi dibattiti sui limiti e l'originalità del metodo Taguchi il DOE, in tutte le sue declinazioni, diventa strumento di analisi e previsione per il progetto e la produzione.

2000 ... DACE e metamodeling

Si studiano ed ottimizzano i concetti per applicazioni su prototipi virtuali, approfondendo le tecniche di metamodeling in assenza di replicazioni.

# Introduzione al DOE

## Scopo

Lo scopo del DOE consiste nel programmare la scelta e la conduzione di esperimenti al fine di trarre conclusioni **valide** ed **oggettive**.

**Valide ed oggettive** perché possono fornire un quadro completo dei fattori che influenzano, nel bene e nel male, il fenomeno.

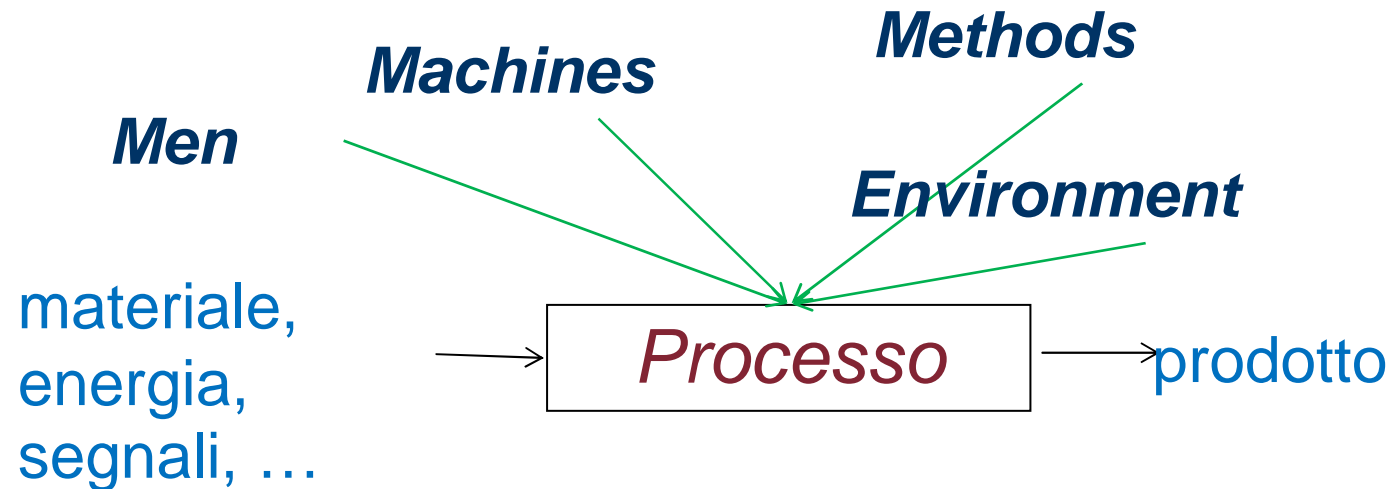
**Valide ed oggettive** perché statisticamente coerenti.

Questo si realizza attraverso la scelta di un'opportuna strategia di sperimentazione e l'adozione di specifiche tecniche di conduzione ed elaborazione degli esperimenti.

**Esperimento = Prova = Test**

# Introduzione al DOE

## Scopo

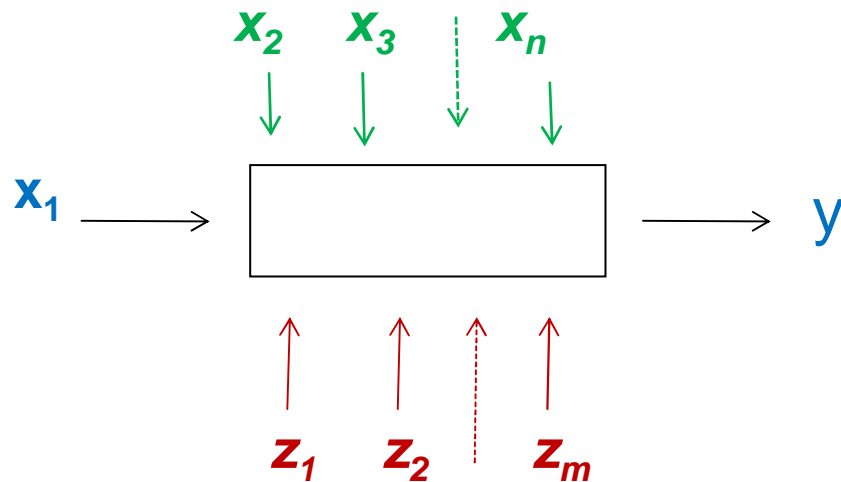


La performance del processo definisce uno o più risultati  $y$

**Risultato = Risposta =  $y$  = Quality Function**

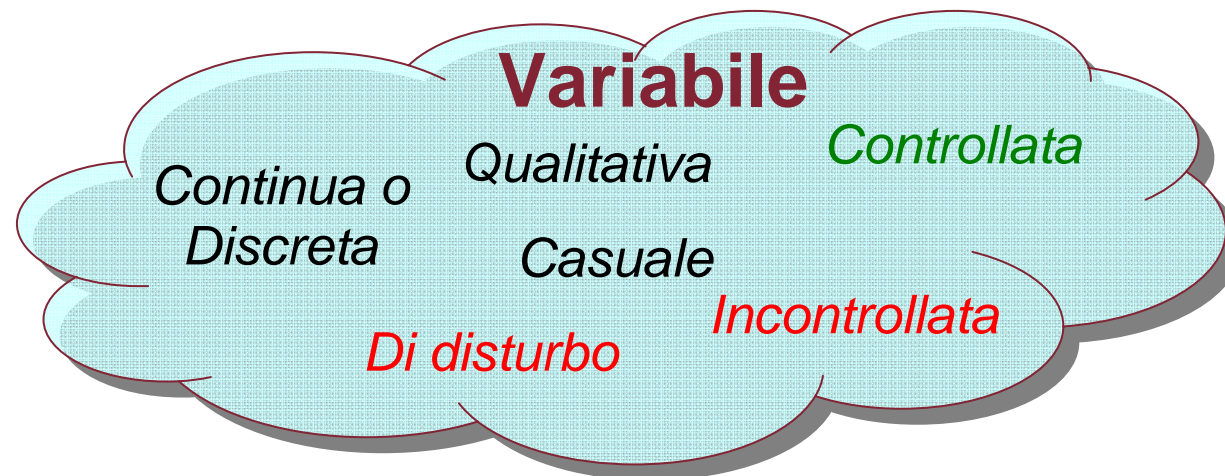
# Introduzione al DOE

## Scopo



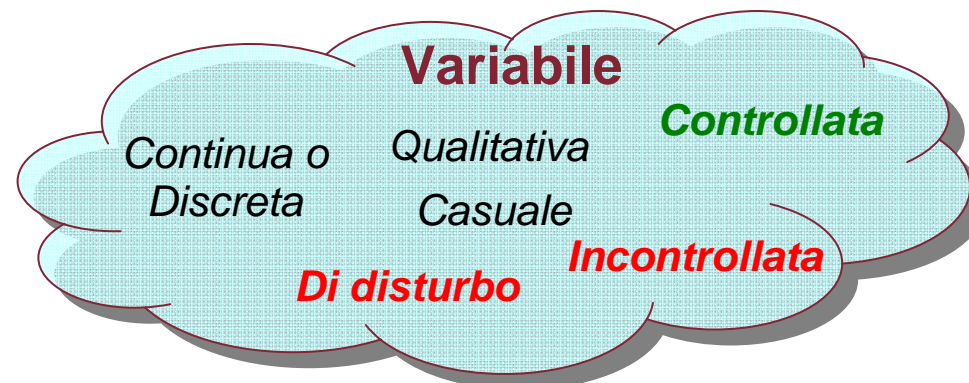
$Y$  è funzione di  $n$  variabili di ingresso ed  $m$  variabili di disturbo introdotte dagli elementi che partecipano al processo.

**Variabile = Fattore = Trattamento**



# Introduzione al DOE

## Scopo



Attraverso il DOE:

- si valuta se e come **X** influenza Y
  - quali livelli di **X** ottimizzano Y
  - come **Z** disperde il risultato Y
  - se e come **X** può ridurre gli effetti di **Z** su Y
- 
- Riduzione dei tempi di sviluppo di un prodotto
  - Riduzione dei costi di sviluppo e di produzione
  - Miglioramento della produttività di un processo
  - Riduzione della variabilità del prodotto associata ad una maggiore conformità ai valori nominali

# Introduzione al DOE

## Scopo

L'originalità del metodo consiste nella *variazione programmata e simultanea* delle variabili

**Analisi Multivariata** versus *one-factor-at-time*  
*best guess approach*



**Esperimenti Fattoriali**



**Analisi delle Interazioni**

## Esempio: caratterizzazione di un processo

Fabbricazione di schede a circuiti stampati mediante Flow Solder Machine (preso da D.C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments", Wiley and son).

[Filmato del processo](#)

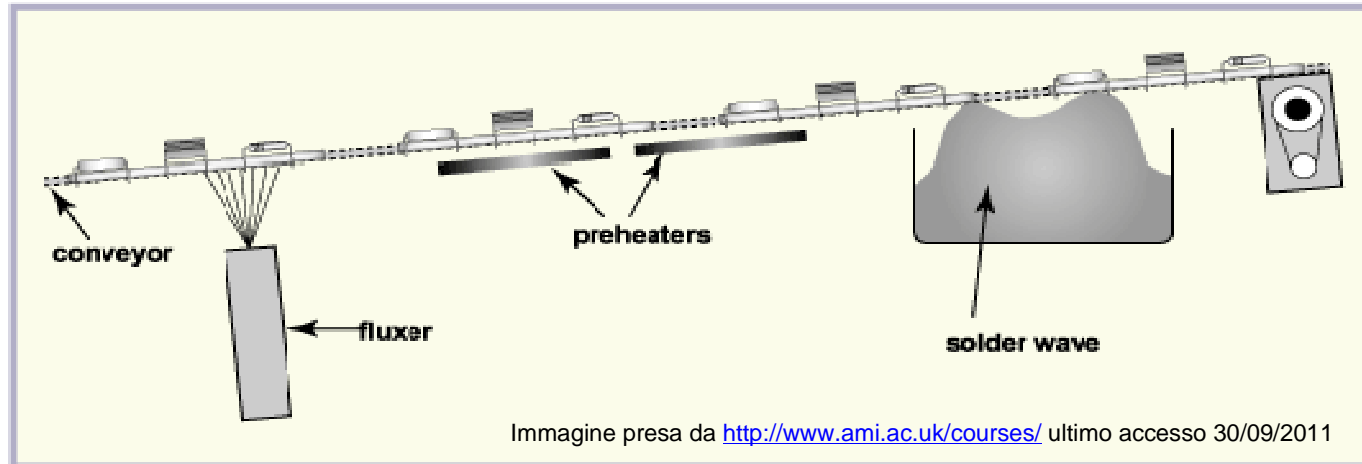
<http://www.youtube.com/watch?v=Cgvcoi17coU&NR=1>

[Descrizione "analitica" del processo](#)

[http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0225\\_wave/index.html](http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0225_wave/index.html)

# Introduzione al DOE

## Esempio: caratterizzazione di un processo



La macchina pulisce le schede (fluxer), le preriscalda (preheaters) e quindi le fa scorrere su una vasca con lega fusa in moto ondoso (solder wave).

Il processo è caratterizzato dall'1% di componenti difettosi che richiedono "aggiustaggio" ... in media un circuito stampato ha oltre 2000 saldature!

Quale parametro della macchina è il maggior responsabile dei difetti e quale settaggio può ridurli?



# Introduzione al DOE

Esempio: caratterizzazione di un processo

## Variabili controllabili (**x**):

- temperatura della lega
- temperatura di preriscaldamento
- velocità di scorrimento
- angolo di scorrimento
- tipo di flusso (in genere liquidi a bassa viscosità spruzzati o schiumati)
- capacità di adesione del flusso
- altezza dell'onda di saldatura

## Variabili non controllabili (**z**):

- Spessore della scheda
- Tipo dei componenti da inserire sulla scheda
- Lay out dei componenti sulla scheda
- Operatore
- tasso di produttività

# Introduzione al DOE

Esempio: caratterizzazione di un processo

**Le variabili generalmente non controllabili possono essere monitorate in un esperimento?**

**Quale sarà la funzione risposta?**

L'entità dei difetti per unità prodotte? L'andamento dei profili di temperatura?

**Devo strumentare la prova? Con che limiti?**

**Cosa mi aspetto dalle prove?**

- Capire le variabili più influenti ed il loro verso di azione
- Definizione di carte di controllo per le variabili di processo e non solo per gli output

- Porsi queste domande significa impostare la fase di chiarimento degli obiettivi dell'analisi DOE e serve a capire:
  - Come condurre gli esperimenti (cosa misurare, cosa variare e con quali accorgimenti)
  - Come organizzarli (quale tipo di DOE scegliere)
  - Come elaborarli

Più in generale si parla di strategia di impostazione dell'analisi in accordo con lo schema seguente

# Introduzione al DOE

## Strategia di impostazione

1. Riconoscimento e Definizione del problema
2. Scelta della variabile di risposta ( $Y$ )
3. Analisi e Scelta dei fattori ( $X$ ,  $Z$ , *cosa è controllabile? cosa è incontrollabile? cosa è rumore?*). Definizione degli intervalli e dei livelli di lavoro
4. Scelta del piano
5. Conduzione degli esperimenti
6. Analisi statistica dei dati
7. Conclusioni e convalida

*L'esempio precedente  
arriva fino a metà del  
punto 3*

# Introduzione al DOE

## Strategia di impostazione

### Raccomandazioni

- Usare la conoscenza specifica del problema per:
  - semplificare l'impostazione dell'analisi;
  - comprendere il significato pratico/economico dell'elaborazione statistica.
- Fare scelte semplici ricordando che il processo è iterativo (allocare il 25% delle risorse nell'indagine iniziale).

### Metodi utili nella fase di impostazione

FISH BONE DIAGRAM (Diagramma di Ishikawa)

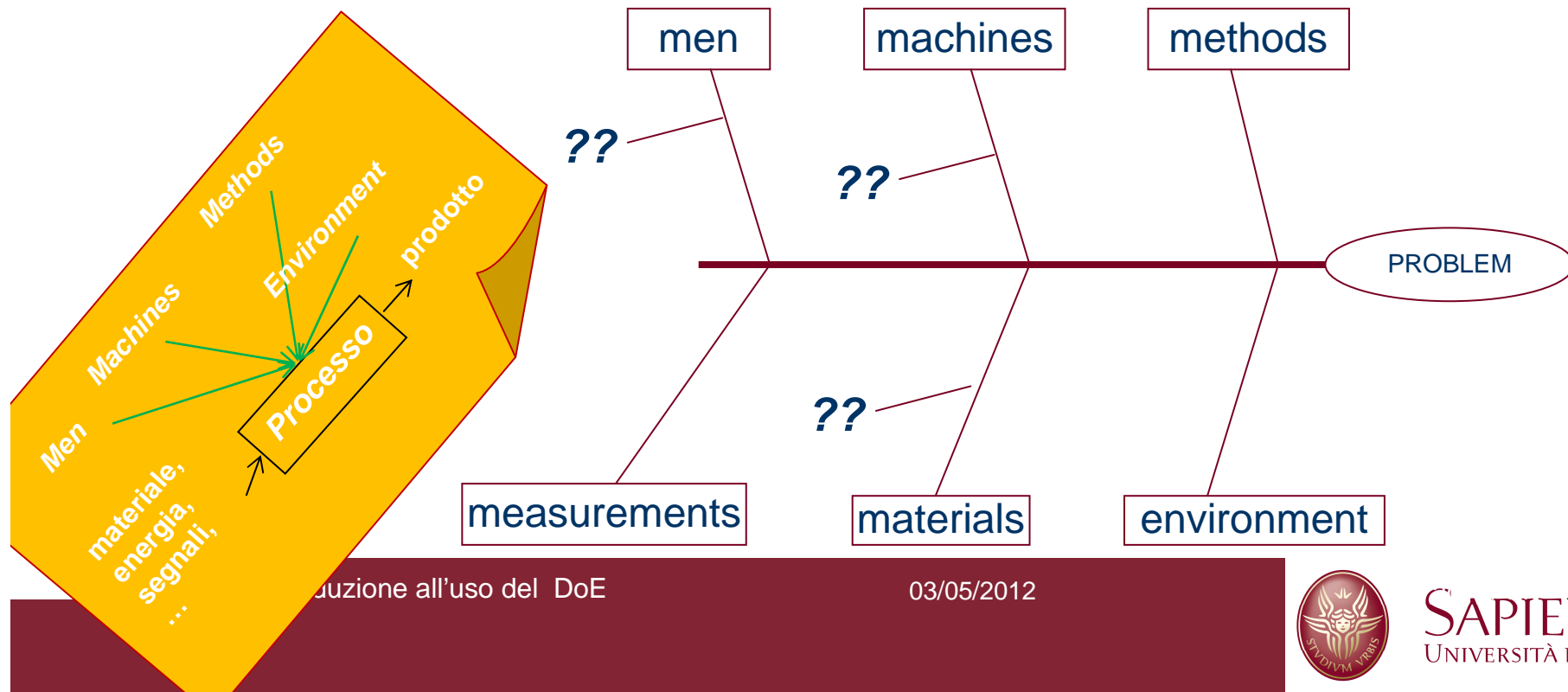
Analisi di Pareto

# Introduzione al DOE

## Strategia di impostazione / FISH BONE DIAGRAM

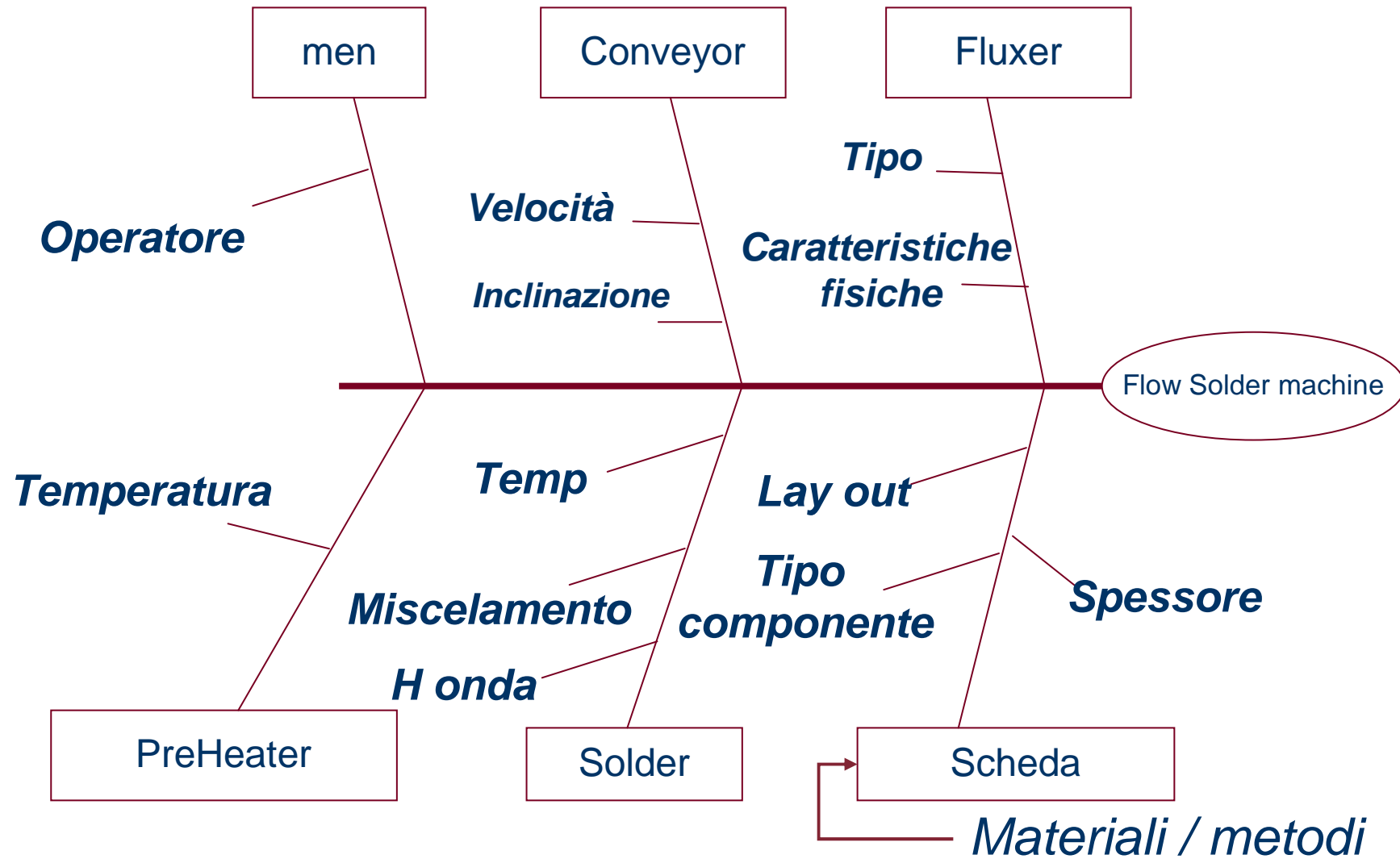
**Scopo:** analizzare classi di cause associate ad uno specifico effetto.

Prefissate classi di cause formano le spine della lisca, ciascuna spina si sottoramifica a seconda dei casi.



# Introduzione al DOE

## Fish Bone Diagram



... In questo esempio manca la voce "Misure" ...



1. Riconoscimento e Definizione del problema
2. Scelta della variabile di risposta ( $Y$ )
3. Analisi e Scelta dei fattori ( $X$ ,  $Z$ , *cosa è controllabile? cosa è incontrollabile? cosa è rumore?*). Definizione degli intervalli e dei livelli di lavoro
4. Scelta del piano
5. Conduzione degli esperimenti
6. Analisi statistica dei dati
7. Conclusioni e convalida

Prima di trattare il punto 4. è opportuno richiamare alcuni concetti di statistica descrittiva, necessari per comprendere la base teorica del DOE e della sua elaborazione (punti 4 e 6 della strategia).