

Cp = 2.0

Cpk = 1.5

ppm = 3.4

6σ

Design for Six Sigma

Applicazione ad un sotto-sistema di:

- Robust Design
- Sensitivity Analysis
- Tolerance allocation

Pier Giorgio DELLA ROLE

Evoluzione della Progettazione



Trial & Error

Empirica

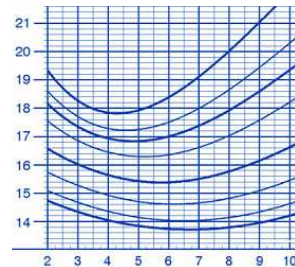
Analitica

Probabilistica



- Sperimentazione non sistematica
- Basato su esperienza

Deterministica
(Fattori di sicurezza)

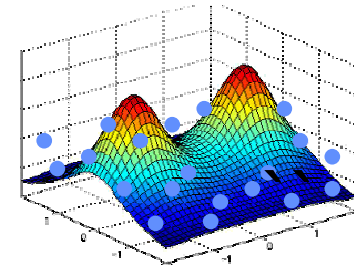


- Approccio con grafici parametrici
- Sperimentazione sistematica



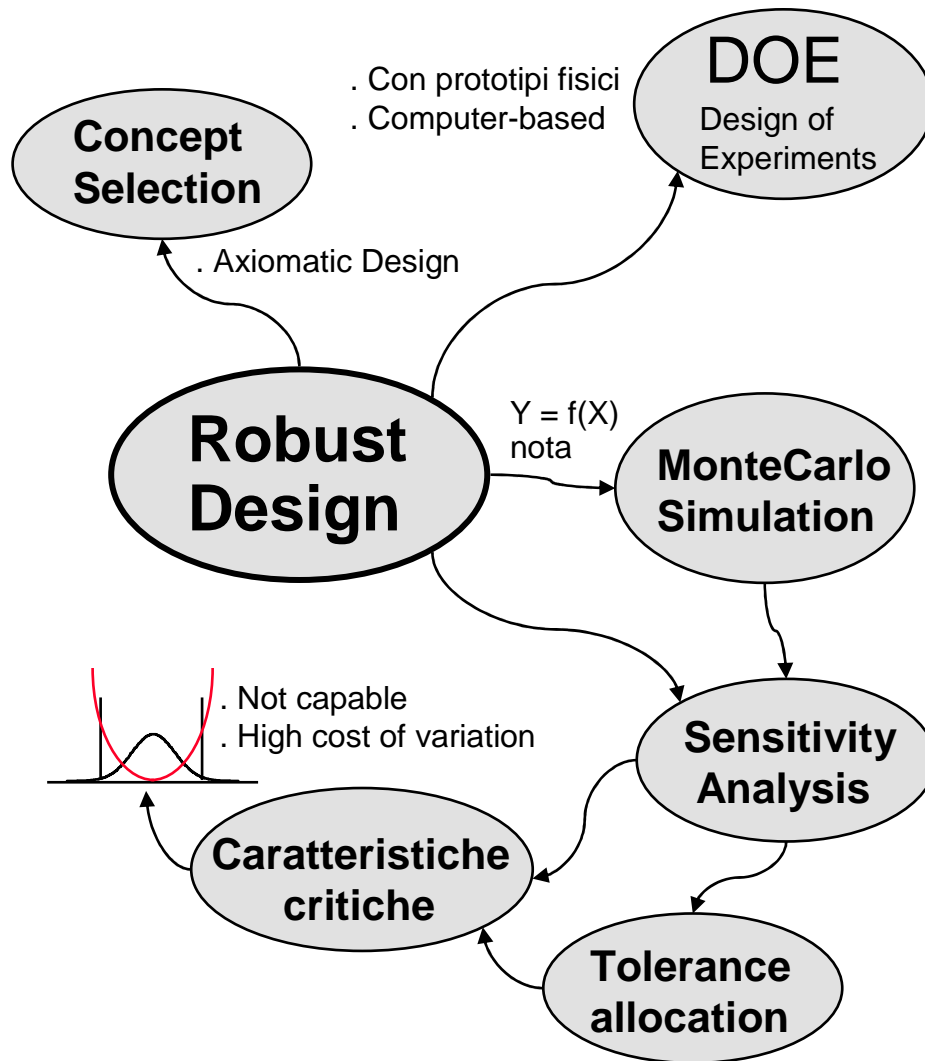
- Simulazioni con prototipi software
- Stime puntuali

Probabilistica
(Rischio quantificato)



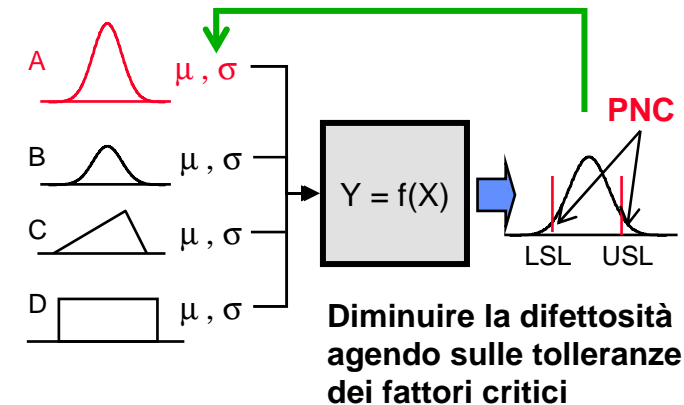
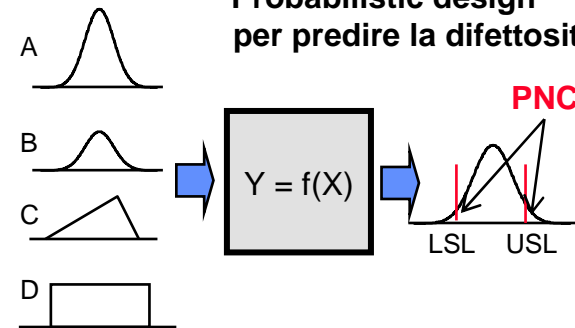
- Simulazioni dove gli input sono distribuzioni
- Soluzioni robuste

Lo scenario del "Robust Design"

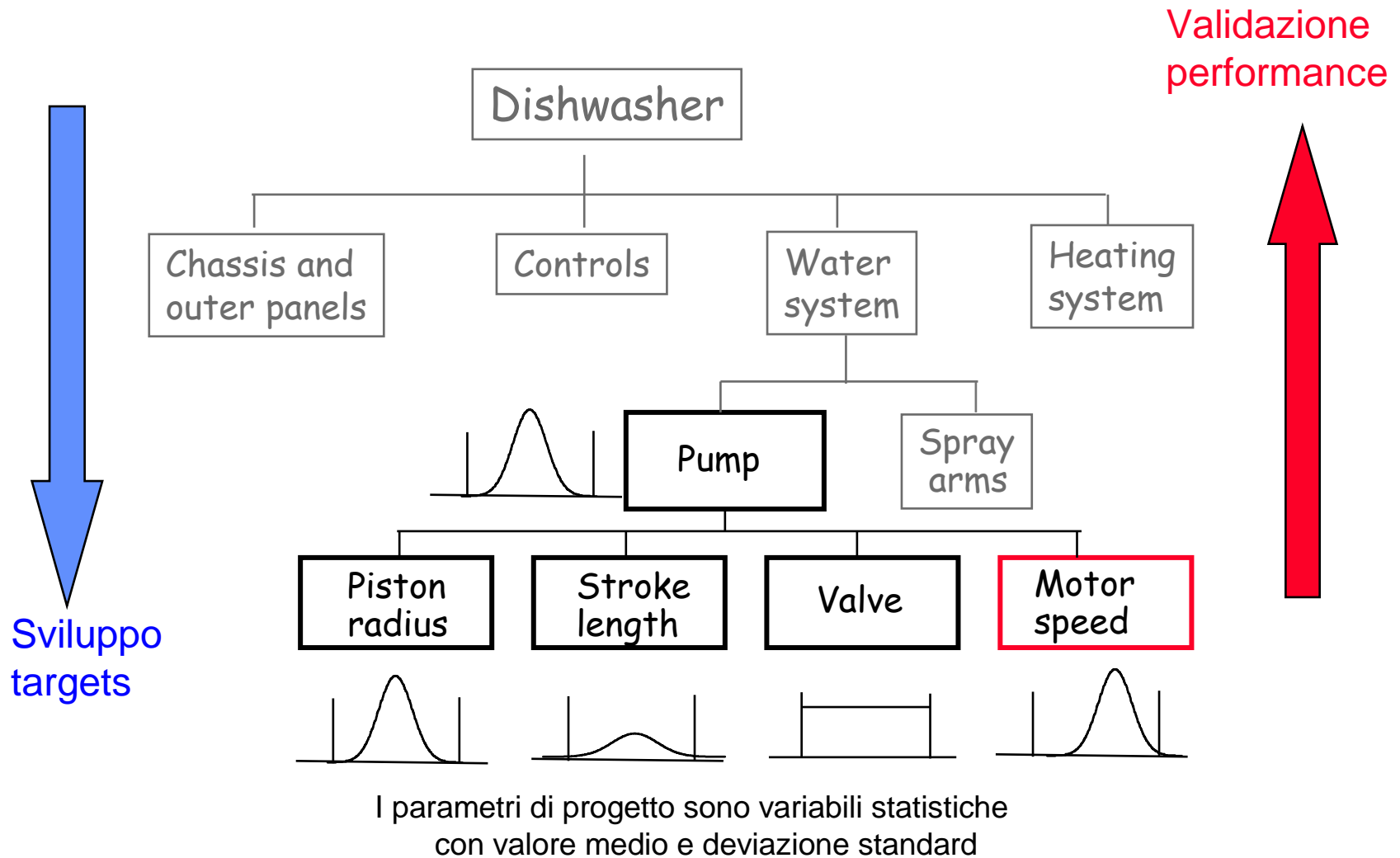


- . Capire quali fattori sono importanti
- . Definire il valore nominale per ottimizzare il sistema
- . Rendere il sistema robusto
- . Ricavare la funzione $Y = f(X)$ tra input e output

"Probabilistic design" per predire la difettosità



Systems Engineering & Probabilistic Design



La Metodologia 'DIDOV' vista da 10000 m



Fase Identify: Consumer Needs

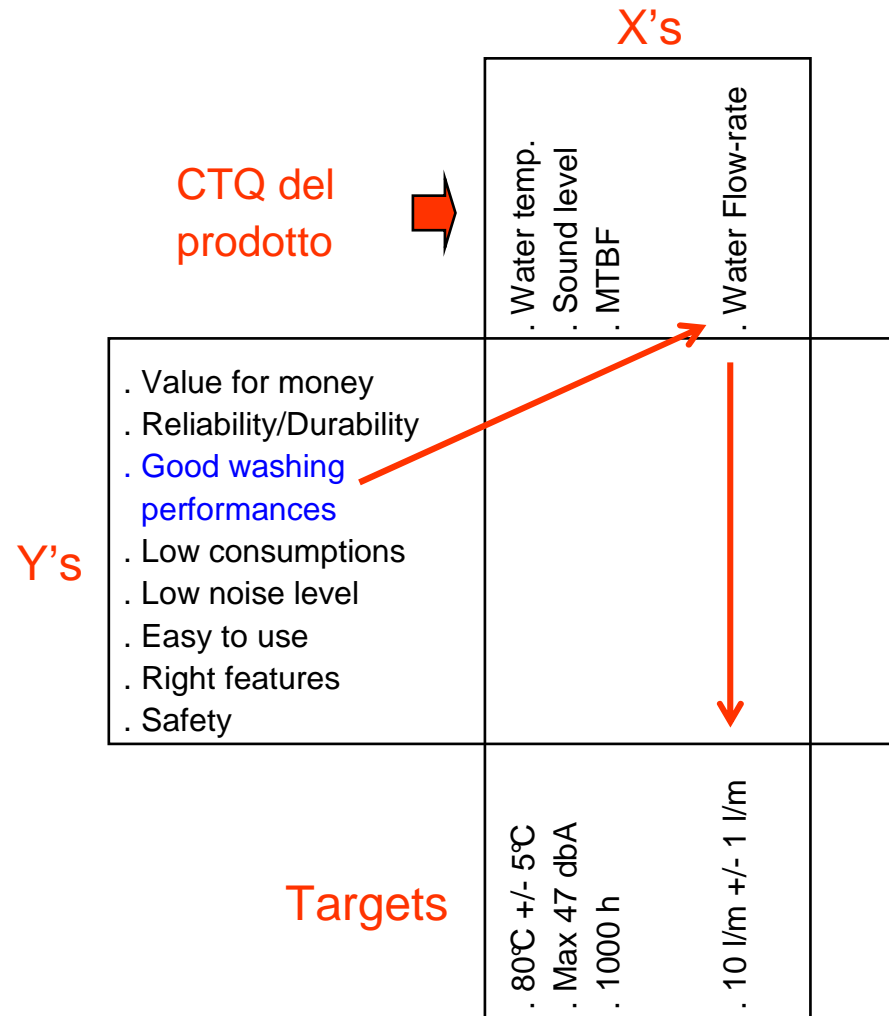
Esempio di una lavastoviglie

- . Value for money
- . Reliability/Durability
- . Good washing performances
- . Low consumptions
- . Low noise level
- . Easy to use
- . Right features
- . Safety



CTQ dei Clienti

QFD - House 1 (Quality Function Deployment)



CTQ Flowdown

QFD - House 1

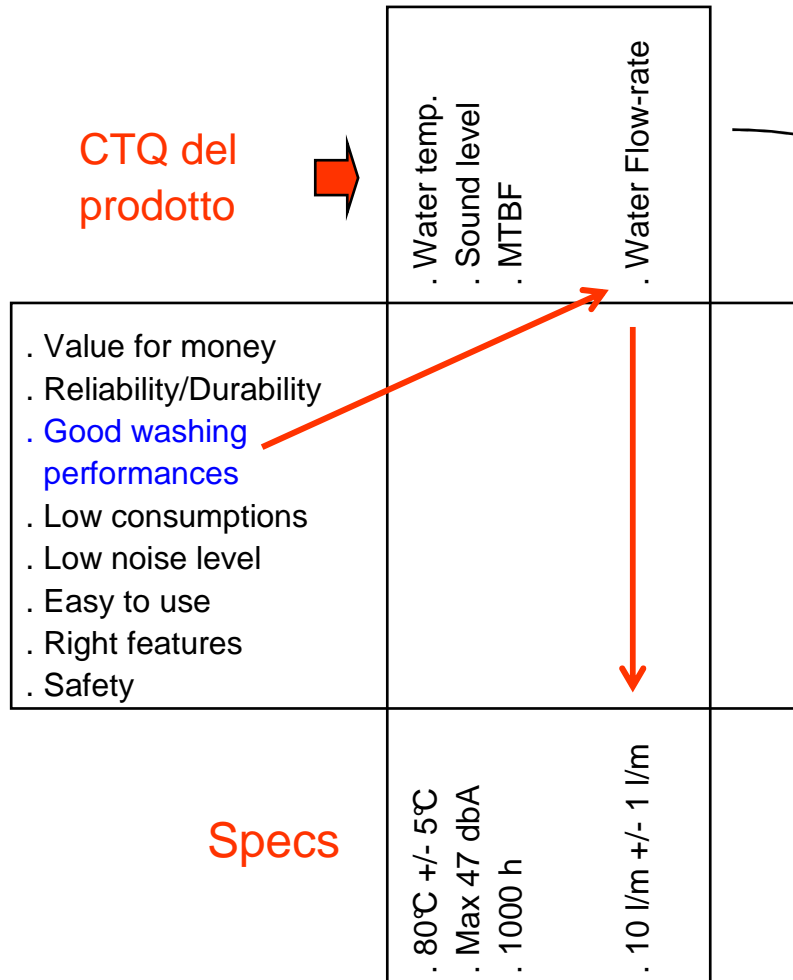
(Quality Function Deployment)

X's

CTQ del prodotto

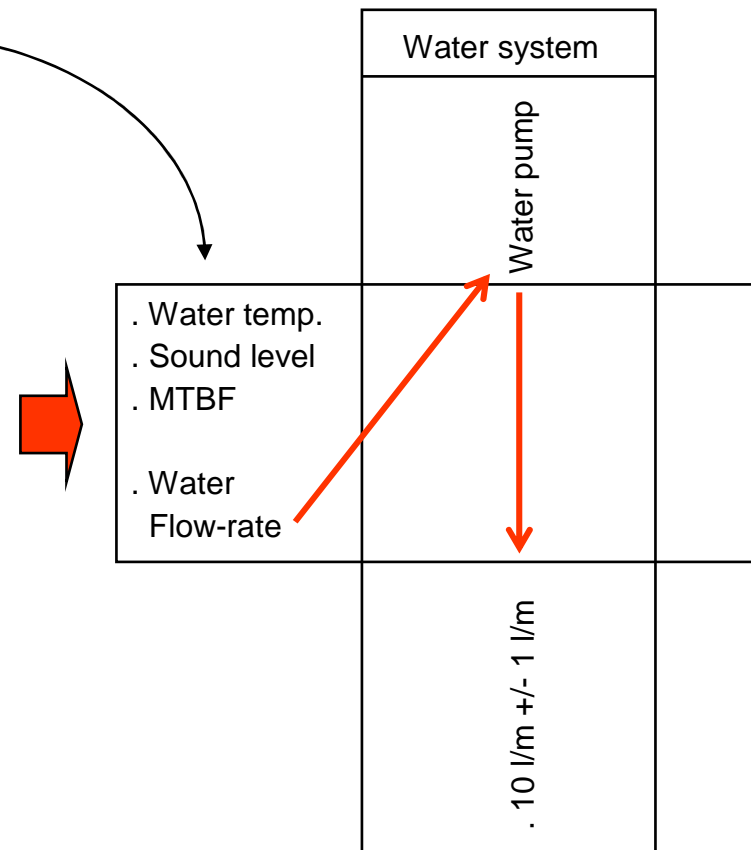
Y's

Specs



QFD - House 2

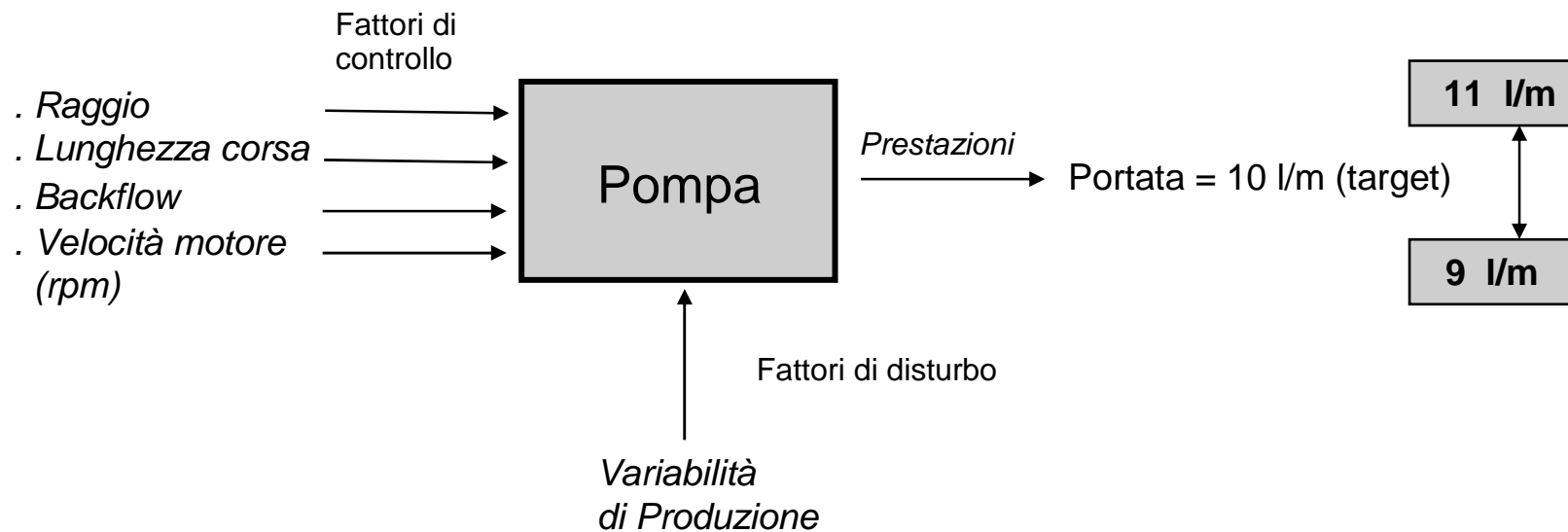
(I QFD2 sono tanti quanti sono i sotto-sistemi)



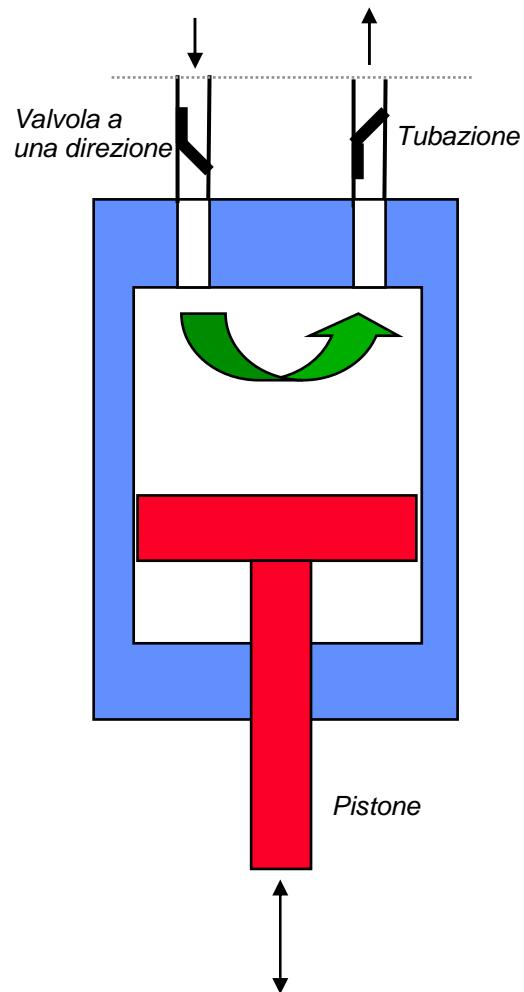
Fase di 'Design'

Abbiamo il compito di progettare una pompa in grado di fornire una portata costante pari a 10 l/min.

Il cliente ci chiede una pompa con performance '6 sigma' entro i limiti di 9 e 11 l/min e 'robusta' alla variabilità di produzione.



Schema Funzionale e Funzione di Trasferimento $Y = f(x)$



Portata (l/min)

$$P = (3.141 \times R^2 \times L - B) N$$




R = Raggio del pistone

L = Lunghezza della corsa

B = Backflow

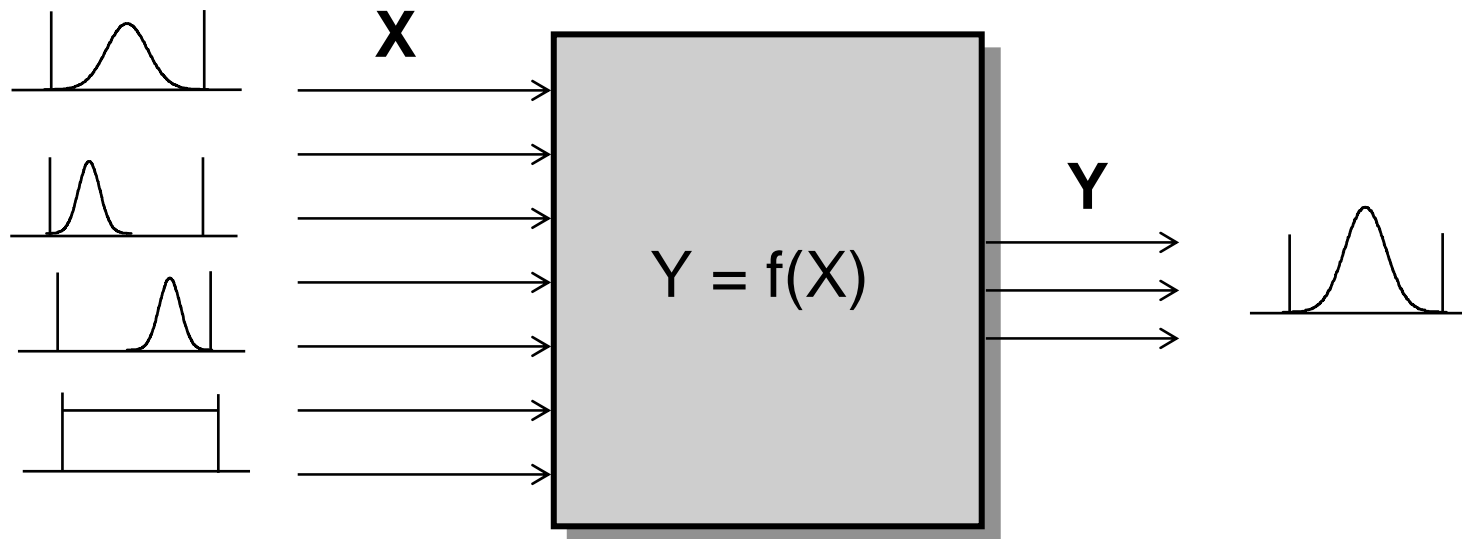
N = Velocità del motore (rpm)

DATI per i PROCESSI di PROGETTAZIONE e di PRODUZIONE

Fattori		Valore nominale		Dev. standard	
MAKE	Raggio	0.4 dm	0.2 dm	0.001	 Dall'attuale processo di fabbricazione
	Lung. corsa	0.4 dm	0.8 dm	0.002	
BUY	Backflow <i>(Valvola di immissione)</i>	0.002 l	0.002 l	0.00005	0.00002
	N (rpm) <i>(Motore elettrico)</i>	50	100	2	1
				Basso costo	Alto costo
		<i>Soluzione 1</i>	<i>Soluzione 2</i>		

Simulazione di MonteCarlo

Quanta variabilità in Y (output) è creata dalla variabilità degli input (X) e dalla funzione $Y = f(X)$

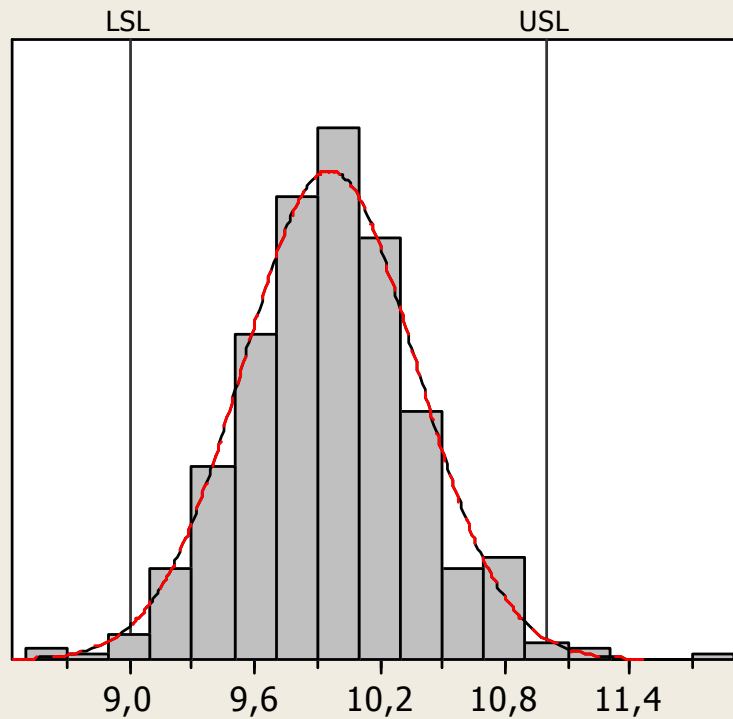


- . Vengono generati valori casuali di X e applicati alla funzione $Y = f(X)$ per predire la variabilità di Y
- . La funzione di trasferimento può non essere lineare
- . La distribuzione degli input (X) può essere qualsiasi
- . Richiede alti numeri di simulazione (>1000) e non è ripetibile

Portata - Soluzione 1

Process Capability of flow-rate

Process Data	
LSL	9,00000
Target	*
USL	11,00000
Sample Mean	9,95925
Sample N	500
StDev (Within)	0,41418
StDev (Overall)	0,41418



—	Within
- - -	Overall

Potential (Within) Capability	
Cp	0,80
CPL	0,77
CPU	0,84
Cpk	0,77
CCpk	0,80

Overall Capability	
Pp	0,80
PPL	0,77
PPU	0,84
Ppk	0,77
Cpm	*

Observed Performance	
PPM < LSL	10000,00
PPM > USL	6000,00
PPM Total	16000,00

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	10278,78
PPM > USL	5989,50
PPM Total	16268,28

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	10278,78
PPM > USL	5989,50
PPM Total	16268,28

Fase di 'Optimise'

Il risultato raggiunto nella soluzione '1' non è in accordo con l'obiettivo: una pompa con performance '6 sigma'.

Troppa variabilità nell'output : infatti Cpk è uguale a 0.77
(Six Sigma significa Cpk = 1.5)

E' possibile ridurre la variabilità dell'output agendo solo sul valore nominale degli input.

(Occorre che ci sia una relazione non lineare tra input e output)

Dati Progettuali

Fattori		Valore nominale		Dev. standard	
MAKE	Raggio	0.4 dm	0.2 dm	0.001	Dall'attuale processo di fabbricazione
	Lung. corsa	0.4 dm	0.8 dm	0.002	
BUY	Backflow (Valvola di immissione)	0.002 l	0.002 l	0.00005	0.00002
	N (rpm) (Motore elettrico)	50	100	2	1
		↑	↑	Basso costo	Alto costo
		Soluzione 1	Soluzione 2		

Viene quindi presa in considerazione la soluzione 2 dove è stato diminuito il raggio, aumentata la corsa e adeguato il numero di giri.

Fase di 'Optimise' (continua)

Agendo sul valore nominale degli input si può rendere la pompa meno sensibile o più ROBUSTA alla variazione degli stessi.

Poiché questa operazione è sicuramente meno costosa rispetto a quella di ridurre le tolleranze, essa ha la priorità più alta.

Tale operazione è stata eseguita nella 'soluzione 2' dove abbiamo diminuito il raggio e aumentata la corsa.

Abbiamo ottenuto un netto miglioramento in termini di variabilità dell'output (portata). Cpk è 1.37

Qualora le prestazioni non siano state ancora raggiunte, il prossimo passo sarà quello di ridurre le tolleranze:

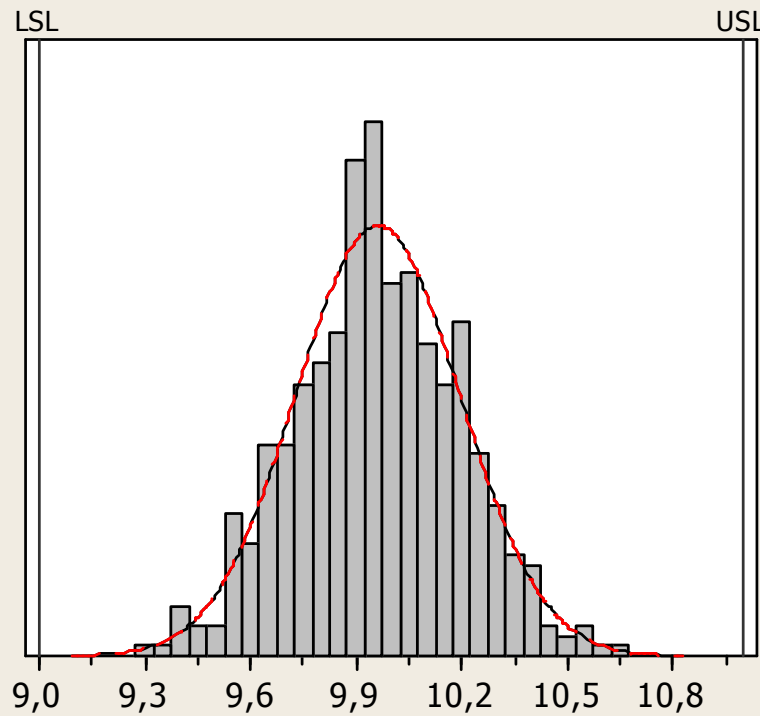
La domanda è: quali tolleranze e di quanto?

Nel decidere quali tolleranze ridurre, occorre tenere presenti sia il costo che l'effetto della riduzione.

Portata - Soluzione 2

Process Capability of flow-rate2

Process Data	
LSL	9,00000
Target	*
USL	11,00000
Sample Mean	9,96194
Sample N	500
StDev (Within)	0,23399
StDev (Overall)	0,23399



—	Within
- - -	Overall

Potential (Within) Capability	
Cp	1,42
CPL	1,37
CPU	1,48
Cpk	1,37
CCpk	1,42

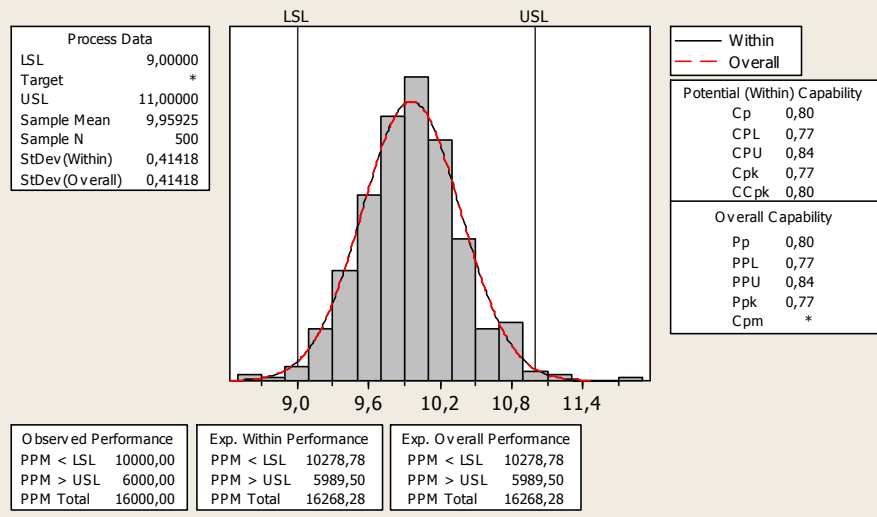
Overall Capability	
Pp	1,42
PPL	1,37
PPU	1,48
Ppk	1,37
Cpm	*

Observed Performance	
PPM < LSL	0,00
PPM > USL	0,00
PPM Total	0,00

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	19,69
PPM > USL	4,57
PPM Total	24,27

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	19,69
PPM > USL	4,57
PPM Total	24,27

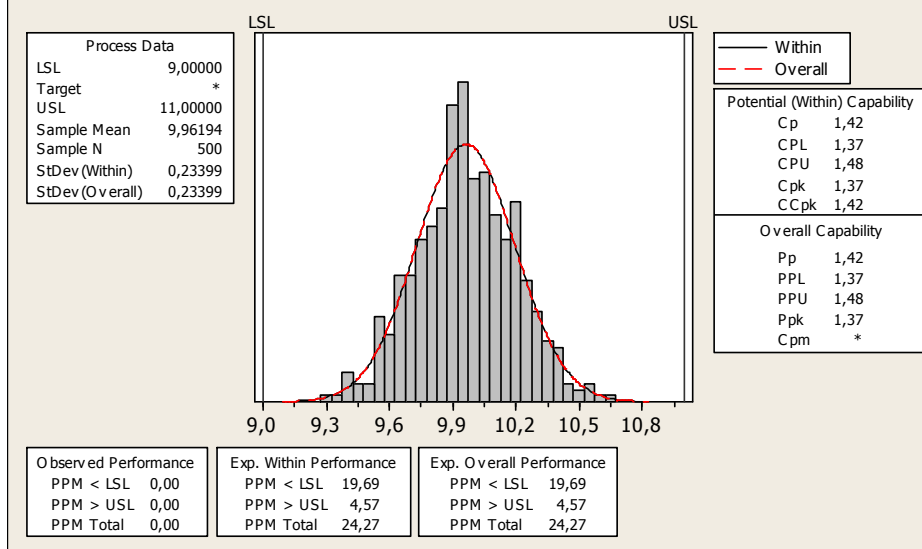
Process Capability of flow-rate



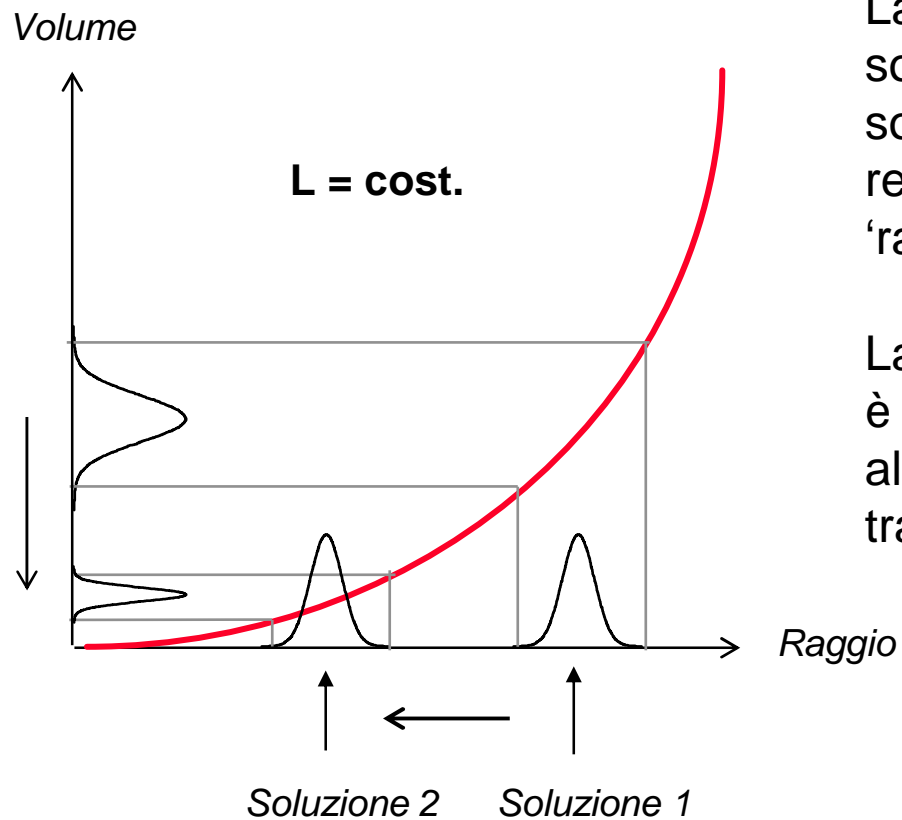
Confronto tra la soluzione 1 e la soluzione 2.

Abbiamo ottenuto una progettazione ROBUSTA NON modificando le tolleranze sui parametri, ma cambiando solamente i loro valori nominali. La robustezza si ottiene progettando una pompa che sia meno sensibile alla variabilità degli input. La variabilità degli input è sempre la stessa, ma solo una piccola parte di questa viene trasmessa all'output.

Process Capability of flow-rate2



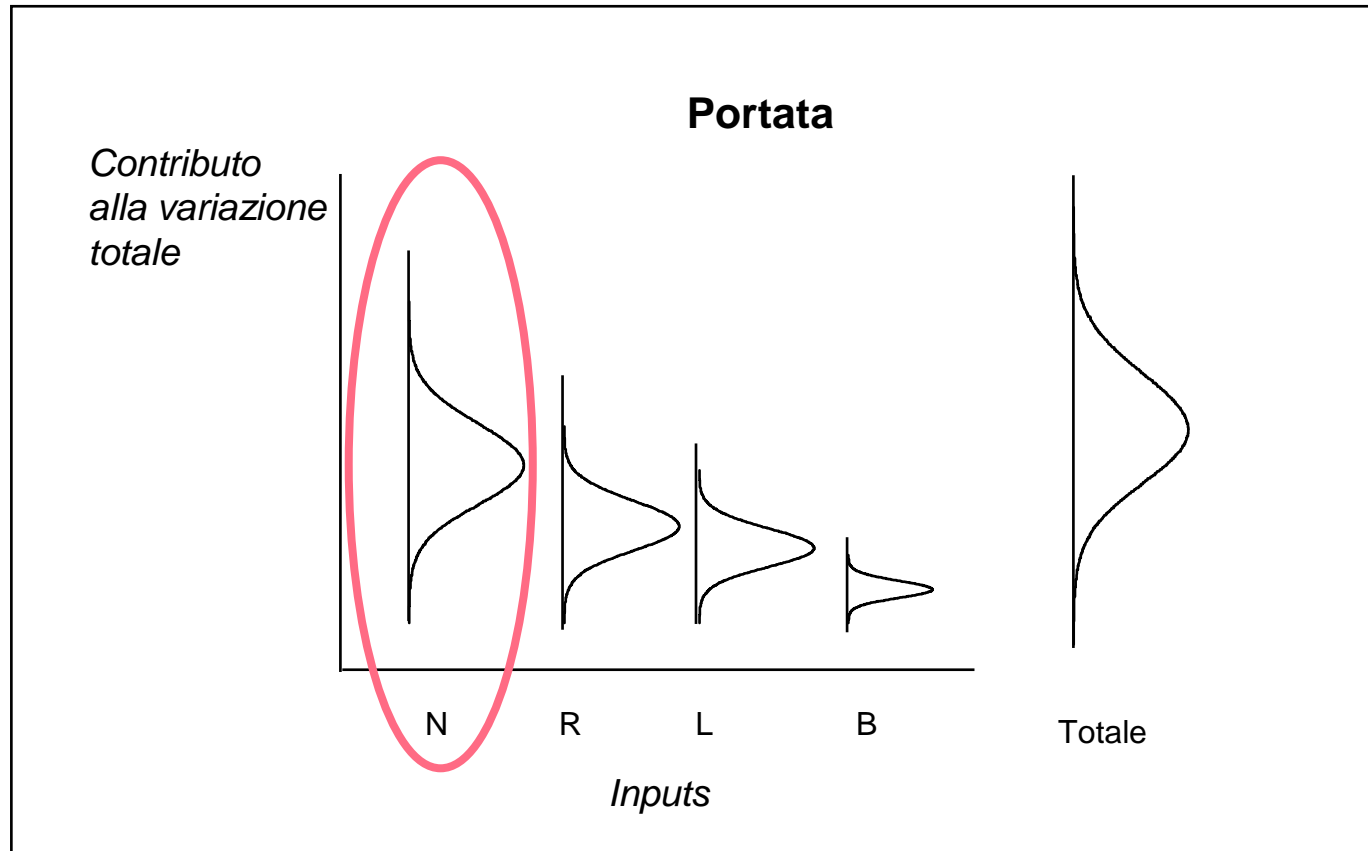
CONSIDERAZIONI QUALITATIVE



La robustezza raggiunta nella soluzione 2 (paragonata alla soluzione 1) è dovuta alla relazione non lineare tra 'raggio' e 'volume'.

La variabilità dell'input (raggio) è sempre la stessa, ma all'output (volume) viene trasmessa una variabilità minore.

Cosa accade se la performance desiderata non é stata ottenuta?



Il passo successivo sarà ridurre la variabilità degli input agendo sulle tolleranze. Questo richiede generalmente l'utilizzo di componenti e processi più costosi.

Il problema é quali tolleranze e di quanto?

Best Subsets Regression

Response is Flowrate

Vars	R-Sq	Adj. R-Sq	C-p	s	B	a	R	L	c	N
1	78,7	78,6	6E+05	0,10767						X
1	28,7	28,4	2E+06	0,19703	X					
2	98,7	98,7	4E+04	0,026508	X					X
2	80,2	80,0	6E+05	0,10416		X				X
3	99,9	99,9	1297,5	0,0052753	X	X				X
3	98,8	98,8	4E+04	0,025855	X		X			X
4	100,0	100,0	5,0	0,0019136	X	X	X			X

Il numero di giri (N) del motore spiega il 78,6% della totale variazione dell'output (portata)

Portata (l/min)

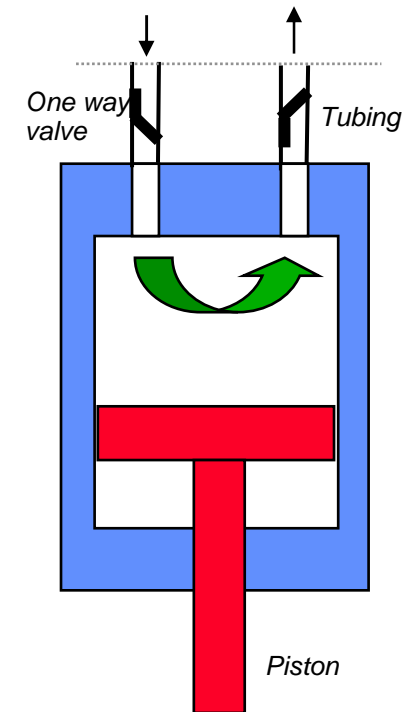
$$P = (3.141 \times R^2 \times L - B) N$$

R = Raggio pistone

L = Lunghezza corsa

B = Back flow

N = Numero giri (rpm)

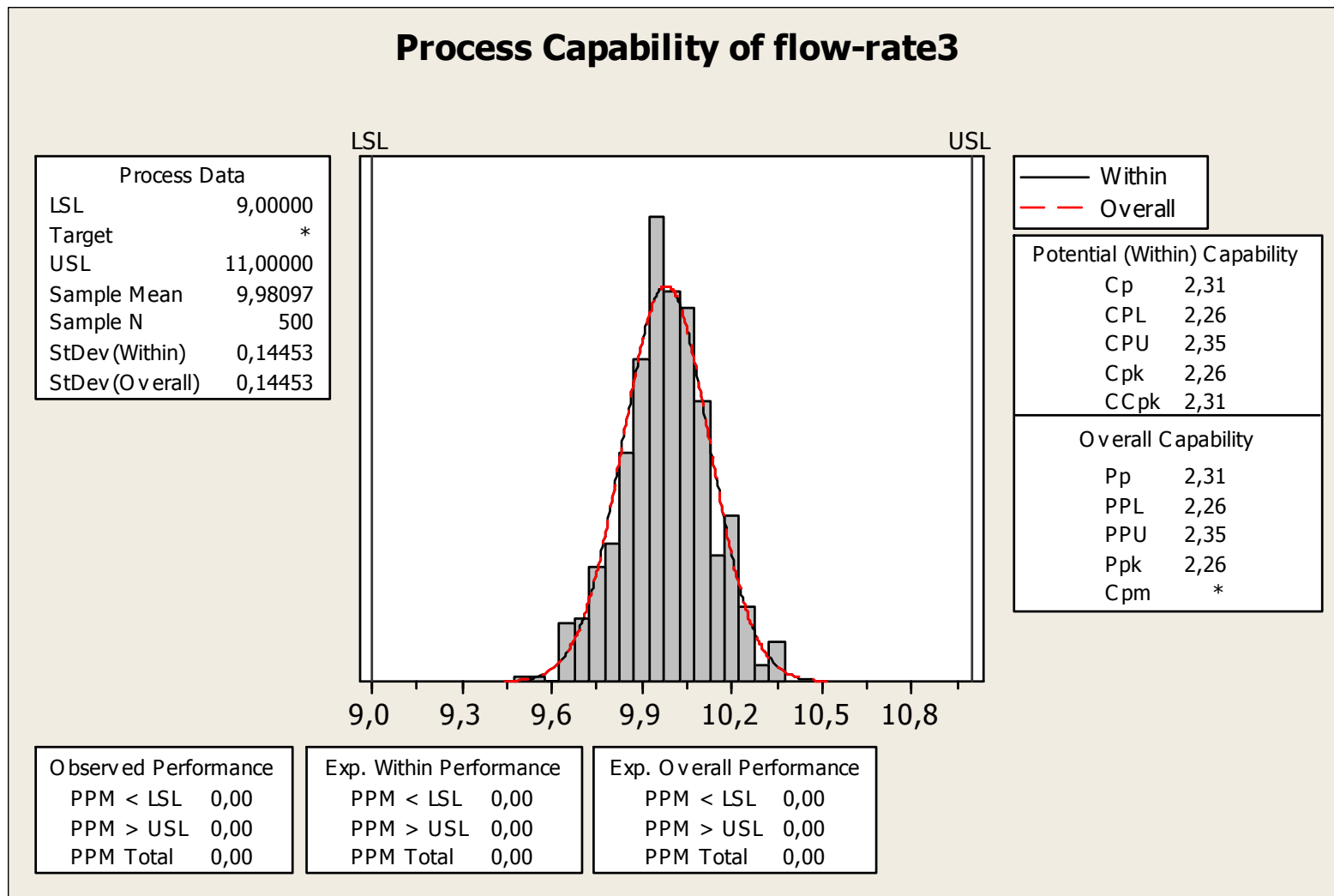


DATI per i PROCESSI di PROGETTAZIONE e di PRODUZIONE

		Fattori	Valore nominale		Dev. standard	
MAKE	Raggio	0.4 dm	0.2 dm	0.001	Dall'attuale processo di fabbricazione	
	Lung. corsa	0.4 dm	0.8 dm	0.002		
BUY	Backflow <i>(Valvola di immissione)</i>	0.002 l	0.002 l	0.00005	0.00002	
	N (rpm) <i>(Motore elettrico)</i>	50	100	2	1	
		↑	↑	Basso costo	Alto costo	
		Soluzione 1	Soluzione 2			

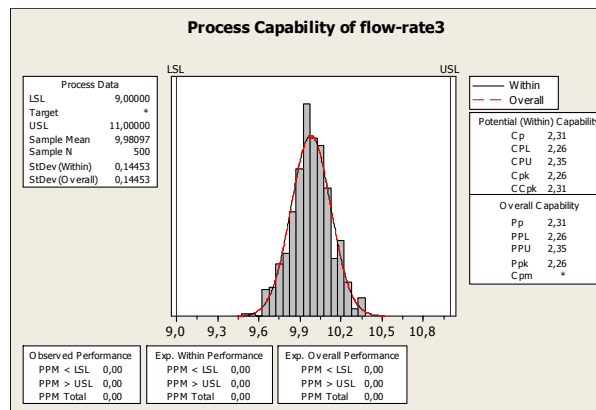
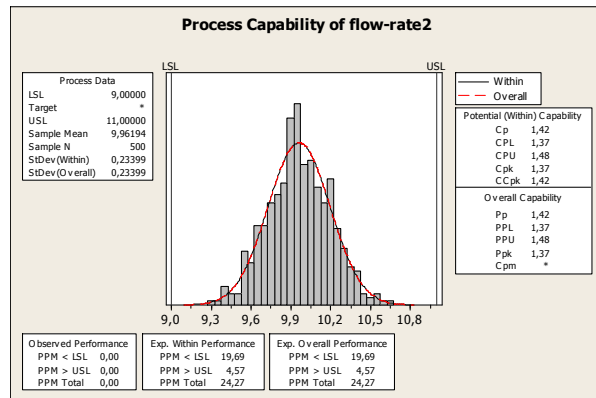
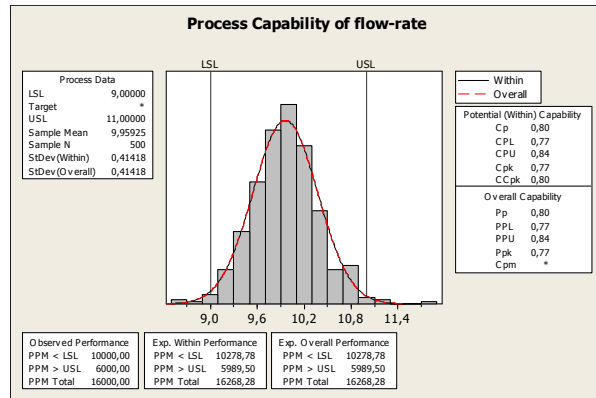
 Dati usati per la soluzione 3

Portata - Soluzione 3 *(Ottenuta riducendo la variabilità di velocità del motore)*



Riassunto delle Soluzioni

1. DATI PROGETTUALI INIZIALI



2. MODIFICATI VALORI NOMINALI DI RAGGIO, CORSA, GIRI MOTORE

3. RIDOTTA TOLLERANZA GIRI MOTORE

CONCLUSIONI

- Abbiamo progettato una pompa con performance '6 sigma' e siamo stati in grado di predire per ogni fase (soluzione 1, soluzione 2, soluzione 3) la percentuale di difettosità (in ppm). E' una decisione di business (costo → prestazioni) a quale fase fermarsi;
- Conoscendo la funzione di trasferimento $Y = f(x)$ tra input e output, siamo stati in grado di simulare le performance della pompa limitando al minimo la costruzione prototipi (solo conferma finale);
- Con la simulazione di MonteCarlo gli input non sono valori singoli, ma distribuzioni: di conseguenza anche l'output sarà una distribuzione con la possibilità di calcoli probabilistici (PNC);
- Tra le 4 variabili (input), solo 'N' (numero di giri) è una "*caratteristica critica*" per la pompa e per essa abbiamo determinato le tolleranze al fine di ottimizzare la variabilità dell'output. Tale variabile (N) dovrà essere inclusa nel "*piano di controllo*". Le altre variabili avranno delle tolleranze di tipo 'economico'.