

Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica

ing. F. Campana
a.a. 06-07

Lezione 13: Robust Design

Robust Design significato ed esempi

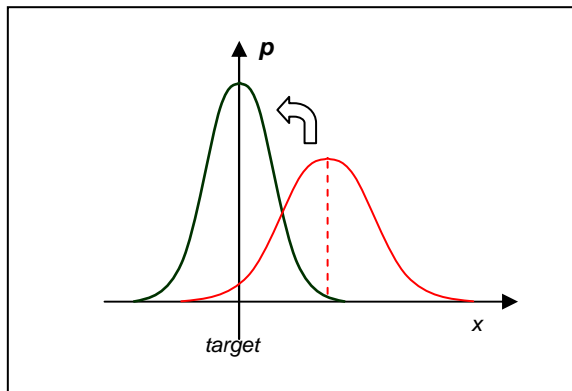
- Le tecniche di ottimizzazione fin qui viste hanno un ampio spettro di applicabilità, dall'analisi strutturale alla messa a punto dei parametri di progetto nei confronti di specifiche prestazioni.
- Il momento di applicazione di questi metodi è senza dubbio nella fase di progettazione esecutiva, durante lo sviluppo del sistema e/o la messa a punto del prototipo.
- Sostituire le prove sperimentali (che vanno sempre replicate) con simulazioni numeriche, di qualsiasi natura, è una pratica auspicabile almeno nelle ottimizzazioni intermedie del sistema, permettendo in genere di ridurre notevolmente i costi. La fase di sperimentazione su prototipo dovrebbe servire solo per le convalide finali.
- Il metodo di Taguchi è una particolare tecnica di ottimizzazione basata sull'approccio globale (DOE), che ha introdotto nella progettazione dei sistemi il concetto di *Robust Design*.
- Realizzare la *robustezza* di un sistema significa far sì che le sue prestazioni si mantengano stabili a prescindere dall'effetto di variabili influenti ma non controllabili.

Robust Design significato ed esempi

Nella fabbricazione e/o nella fase di esercizio di un sistema non tutte le variabili che influenzano le sue prestazioni possono essere controllate sia per problemi tecnologici che economici. La risposta del sistema è quindi soggetta ad una dispersione casuale, tanto più marcata quanto più l'ingresso incontrollabile o incontrollato si discosta dai valori nominali presupposti durante il progetto.

Obiettivo del robust design è quello di individuare questi fattori fuori controllo (detti anche disturbi o variabili di rumore) e, attraverso tecniche di pianificazione degli esperimenti, individuare i livelli delle grandezze controllabili in grado di ridurre la variabilità di risposta indotta dai primi.

Non di rado alla riduzione della varianza della risposta si associa anche un miglioramento globale della risposta media, che si sposta verso i valori dati nella specifica del progetto.



P = distribuzione di probabilità del valore della risposta y

È una curva Gaussiana, l'apertura della campana è funzione della varianza, il valor medio è la risposta che accade con il 50% di probabilità.

x = variabile di controllo

I fattori di rumore producono la variabilità casuale della risposta

Robust Design significato ed esempi

- La risposta investigata dal metodo di Taguchi rappresenta la *funzione di qualità* del sistema, poiché la sua instabilità al variare del rumore viene percepita dal cliente come una perdita di qualità.
- Maggiore sarà la robustezza della funzione al variare dei parametri di rumore, migliore sarà la qualità riscontrata dal cliente.
- Una delle problematiche relative all'applicazione del RD è quella della definizione delle funzioni di qualità di un sistema.
- In termini più generali la definizione delle funzioni di qualità si richiede ogni volta in cui sia necessario misurare la qualità di un sistema/servizio.
- L'esempio seguente ha lo scopo di:
 - introdurre al problema della definizione delle funzioni di qualità;
 - illustrare un'applicazione del metodo Taguchi.

Esempio

Definizione del problema: Migliorare la qualità dei componenti stampati ottimizzando le condizioni di processo già durante lo sviluppo del componente.

Strumenti: Tecniche di Robust Design accoppiate a simulazione FEM del processo di stampaggio

Vantaggi: non semplice ottimizzazione del target ma ricerca della robustezza del progetto, riduzione dei costi di messa a punto degli stampi.

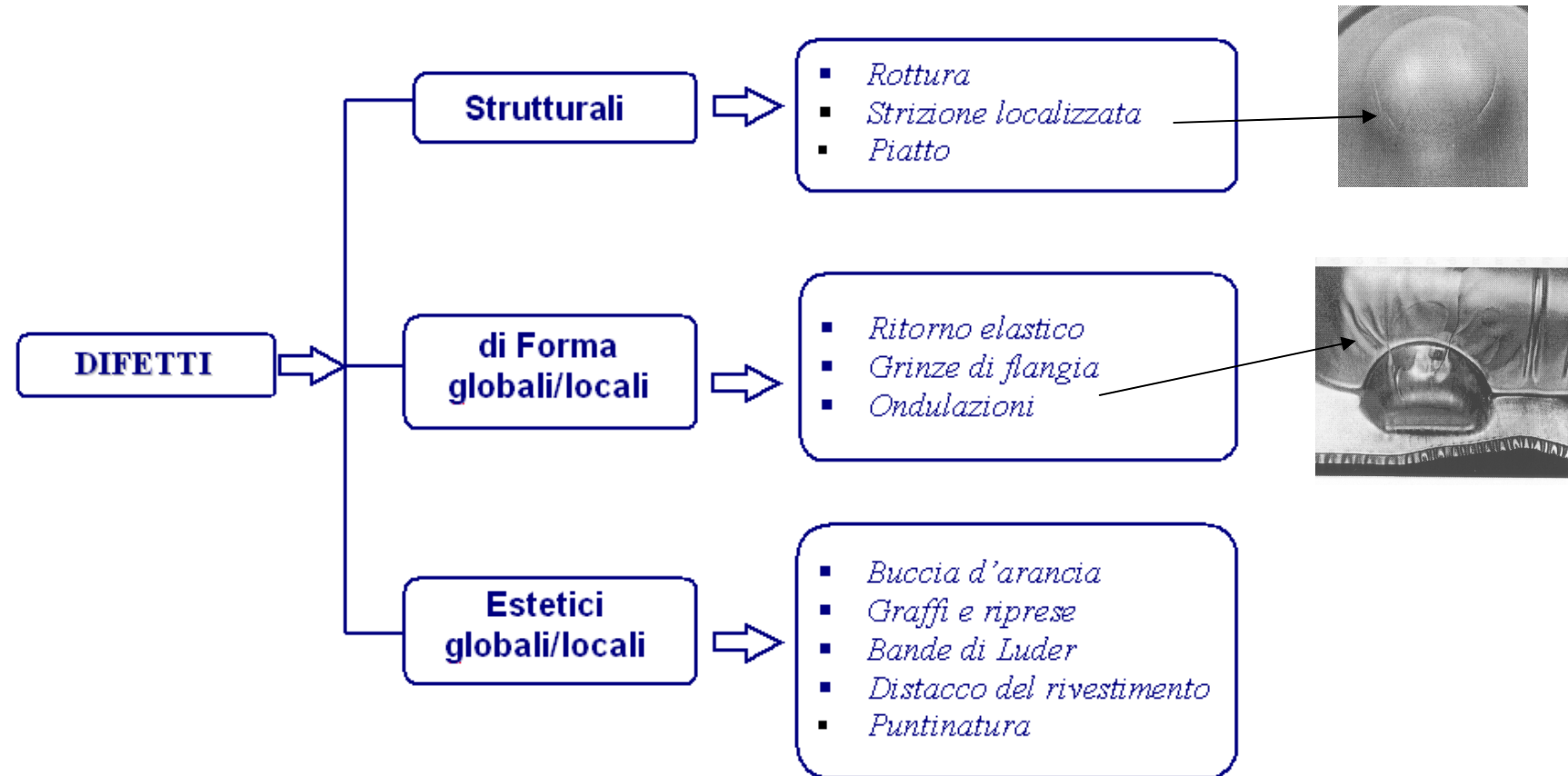
Passi necessari:

1. Definizione della qualità del componente e di una funzione in grado di misurarla
2. Analisi delle variabili del problema ed individuazione dei parametri di controllo e di rumore
3. Stesura dei piani degli esperimenti
4. Esecuzione
5. Valutazione dei risultati

Esempio: (1) Definizione della qualità e sua misura

- Nel caso dello stampaggio si ha una diminuzione di qualità se il componente finito presenta dei difetti.
- Partendo da un catalogo di difetti si è cercato di valutarne sia le cause che gli effetti al fine di stendere delle funzioni in grado di misurare i vari aspetti della qualità degli stampati.
- Queste funzioni devono naturalmente poter essere calcolate mediante i risultati FEM al fine di collegare le condizioni di processo con la qualità del componente.

Esempio: (1) Definizione della qualità e sua misura

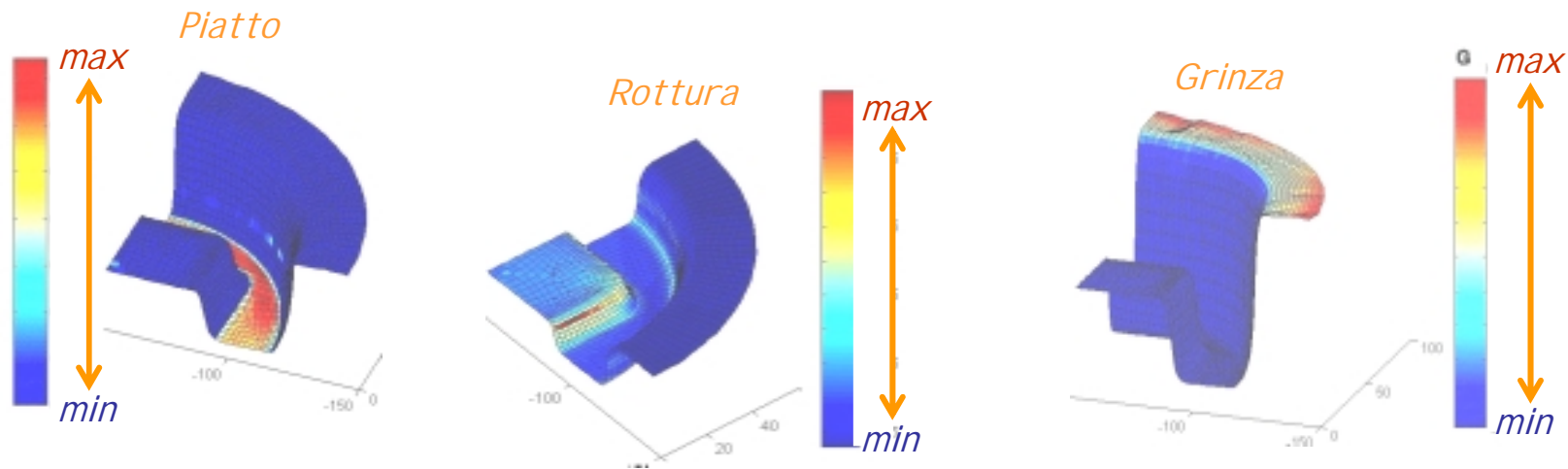


Esempio: (1) Definizione della qualità e sua misura

Le funzioni di qualità sviluppate per la rottura, il piatto e la grinza misurano la qualità dello stampaggio a partire dallo stato di tensione e deformazione calcolato negli elementi della lamiera attraverso la simulazione FEM.

La definizione di *funzioni di qualità* traduce quindi i risultati numerici in termini di *difetti di stampaggio* e:

- rende più comprensibile il dialogo tra stampatori e “simulatori”
- fornisce le funzioni obiettivo per l’ottimizzazione numerica



Esempio: (1) Definizione della qualità e sua misura

- Queste funzioni sono locali, ovvero danno un'indicazione dello stato del componente elemento per elemento, un processo di ottimizzazione deve riferirsi a funzioni obiettivo esplicative dell'intero componente, per questo è necessario passare dalla funzione di elemento a quella di qualità globale del componente.
- Scegliamo quindi di associare al componente per ciascun difetto una misura globale definita come la media dei valori di elemento pesata con i valori delle singole aree (in modo tale da prescindere dalle irregolarità della mesh).
- N.B. Rimane il problema che la qualità in questo caso è un insieme di difetti che tra loro per il momento restano slegati [ottimizzare la qualità dei componenti stampati è un problema *ad obiettivi plurimi (multicriteria decision making theory)*!]

Esempio: (2) Analisi delle variabili del problema

Nel caso dello stampaggio le variabili in gioco posso essere distinte in:

- (i) variabili geometriche, relative alla forma degli utensili e della lamiera indeformata ;
- (ii) caratteristiche del materiale,
- (iii) variabili di processo come la forza sul premilamiera, la velocità del punzone,...

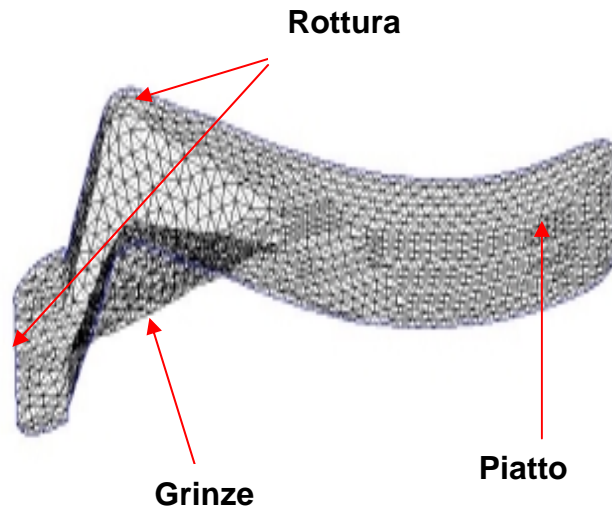
Fuori controllo!

	PARAMETRI	C	NC	F
Di processo	forza di stampaggio	✓		
	forza sul premilamiera	✓		
	lubrificazione	✓		
	posizione del blank	✓		
	numero di passate	✓		
del materiale (lamiera & stampi)	anisotropia		✓	
	modulo di elasticità		✓	
	limite di snervamento		✓	
	parametri di incrudimento		✓	
	limite di rottura		✓	
	allungamento percentuale		✓	
	durezza superficiale stampi		✓	
geometrici (lamiera)	spessore		✓	
	forma del blank	✓		
	rugosità		✓	
geometrici (utensili)	clearance	✓		
	bugne/premilamiera	✓		
	pianta/raccordo punzone	✓		
	h di imbutitura	✓		
	rr. di piegatura			✓
	sviluppo abilità			✓

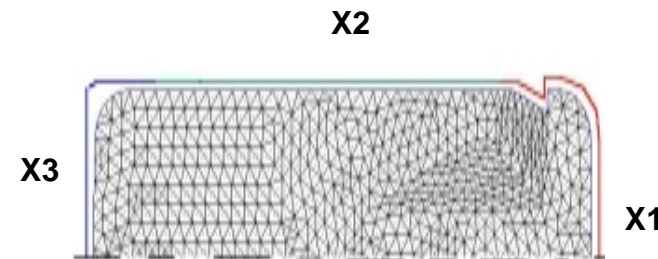
fisse

Esempio: (2) Analisi delle variabili del problema

- Questo rappresenta il modello agli elementi finiti di un componente stampato. Questa è la geometria finale del componente. La figura riporta le zone critiche per i tre difetti predominati.



- Le **variabili di controllo** prescelte sono le caratteristiche dei rompigrinza x_1, x_2, x_3 ed il livello di anisotropia del materiale [1.4;1.8].



- Le **variabili di rumore** sono le caratteristiche del materiale: la tensione di snervamento (range: [170 MPa; 210 MPa]), quella di rottura ([270 MPa, 350 MPa]) e lo spessore ([0.8mm;1.2 mm])

Esempio: (3) Stesura dei piani

- Un piano completo richiederebbe $N=3^4 \times 2^3=648$, con il frazionamento alla Taguchi diventano $N=3^{4-2} \times 2^{3-1}=36!$

K, e sono due grandezze della curva del comportamento plastico definiti in base alle tensioni di rottura e snervamento

				Fattori di rumore				
				k	0	0	1	1
				e	0	1	0	1
				s	1	0	0	1
Fattori di controllo								
x1	x2	x3	x4					
0	0	0	0					
0	1	1	1					
0	2	2	2					
1	0	1	2					
1	1	2	0					
1	2	0	1					
2	0	2	1					
2	1	0	2					
2	2	1	0					

[1.4; 1.6 ; 1.8]

[70%, 90%, 110%]

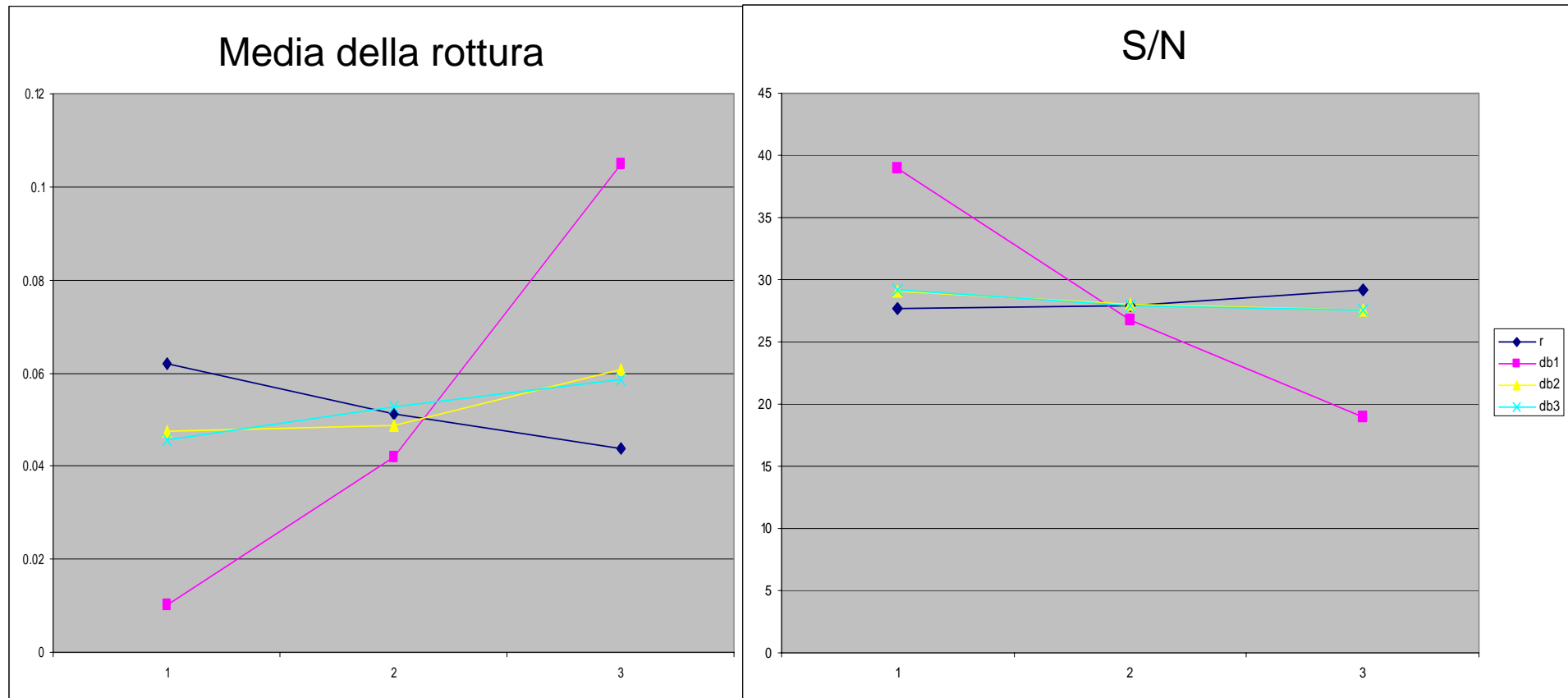
Esempio: (3) Stesura dei piani

- L'obiettivo dell'ottimizzazione consiste nella minimizzazione della funzione rottura (smaller is better)

$$S/N = -10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n} \right)$$

				<i>Fattori di rumore</i>						
				<i>k</i>	0	0	1	1		
				<i>e</i>	0	1	0	1		
<i>Fattori di controllo</i>				<i>s</i>	1	0	0	1		
<i>x1</i>	<i>x2</i>	<i>x3</i>	<i>x4</i>					media	S/N	
0	0	0	0		0,013	0,004	0,003	0,014	0,0084	40186.00
0	1	1	1		0,066	0,029	0,029	0,071	0,0484	25607.00
0	2	2	2		0,181	0,075	0,074	0,187	0,1289	17065.00
1	0	1	2		0,017	0,006	0,006	0,017	0,0116	37800.00
1	1	2	0		0,059	0,025	0,026	0,060	0,0423	26819.00
1	2	0	1		0,141	0,056	0,051	0,151	0,0996	19176.00
2	0	2	1		0,014	0,006	0,006	0,015	0,0105	38870.00
2	1	0	2		0,052	0,015	0,014	0,058	0,0347	27893.00
2	2	1	0		0,117	0,057	0,051	0,120	0,0862	20711.00

Esempio: (4) Valutazione dei risultati



- Osservando i grafici si trova un ruolo predominante del rompingrinza 1 (X1)
- le condizioni di ottimo per la media sono [1.8, 70%, 70%, 70%]
per la dispersione è molto influente la variabile X1 (db1)