

Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica

Corso del II anno della laurea specialistica
in ingegneria meccanica

ing. F. Campana

a.a. 10-11

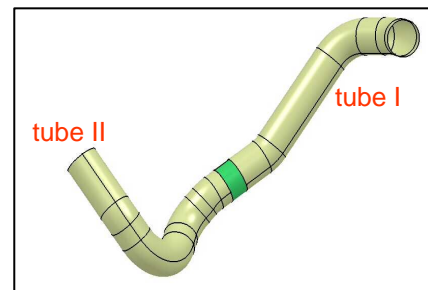
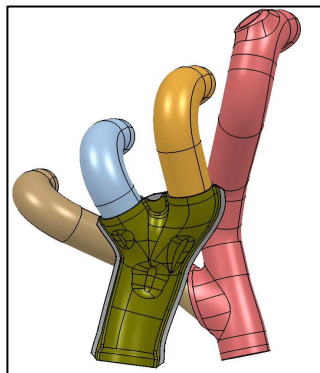
lezione 19: esempi di applicazione del DOE

(parte 2)

2. Creazione di modelli di regressione a partire da piani CCD

Premessa I tubi per collettori di scarico di motori c.i. possono essere realizzati attraverso piegatura e idroformatura. Il livello di assottigliamento finale è un indicatore della qualità e della resistenza del componente finito. Attraverso la simulazione FEM del processo di piega e del successivo stampaggio per idroformatura è possibile prevedere il grado di assottigliamento finale, tuttavia per realizzare queste simulazioni è necessario conoscere la geometria finale del componente.

Per ottimizzare la fabbricazione di questi tubi si studia attraverso simulazione CAD la possibilità di piegare ed idroformare più tubi a partire da un semilavorato unico. Il CAD attraverso un modulo automatico (opportunamente sviluppato insieme al Centro Sviluppo Materiali) studia le configurazioni geometriche ammissibili.



Obiettivo Per rendere questo modulo un mezzo di ottimizzazione completo è bene che possa disporre di un *modello di regressione in grado di prevedere il livello di assottigliamento in funzione delle condizioni di piega*

Obiettivi del DOE

Valutare il ruolo delle variabili di piegatura e definire un modello analitico in grado di calcolare l'assottigliamento finale prodotto da specifiche condizioni di processo. L'indagine è stata realizzata attraverso simulazioni FEM programmate tramite piano degli esperimenti (non esistono quindi replicazioni).

Funzione obiettivo

I tubi sono a sezione cava, la funzione obiettivo è l'assottigliamento finale massimo misurato sull'estradosso del tubo.

Variabili in esame e loro codifica

Variables		min value	max value
Tube thickness (mm)	<i>t</i>	0.8	3.0
Tube diameter (mm)	<i>D</i>	28	80
Bending radius (mm)	<i>R</i>	28	200
Bending angle (deg.)	<i>ang</i>	35°	180°
Technological constraints	R/D	0.9	2
	D/t	15	50

La pratica industriale impone questi rapporti piuttosto che i valori delle singole variabili.

Per questo la codifica del piano prevede le seguenti variabili disposte su più livelli (per rendere possibile un piano CCD, più adatto alle regressioni).

Non si prevedono punti di stella per lo spessore iniziale a causa dei vincoli tecnologici

DOE variables and levels					
	Coded Levels				
	-2	-1	0	1	2
<i>t</i>		1	1.5	2	
<i>D/t</i>	22	29	32.5	36	43
<i>R/D</i>	0.9	1.12	1.45	1.78	2
<i>ang</i>	35°	64°	107.5°	151°	180°

Variabili in esame e loro codifica

Le variabili scelte sono grandezze geometriche, in realtà la funzione obiettivo è funzione anche di altre grandezze:

1. il tipo di materiale
2. la forza di spinta durante la piega
3. l'interazione tra pieghe successive

Per la variabile 1. si decide di replicare lo studio al variare del tipo di materiale (si otterrà quindi una regressione per ciascun materiale in esame).

La variabile 2. si trascurava a causa di difficoltà nel tradurre la forza impostata sperimentalmente sulla macchina di piega in un valore di carico da applicare nella simulazione direttamente sul tubo. D'altra parte l'applicazione di questa forza ha un effetto migliorativo, trascurandola la nostra analisi sarà fatta "nella peggiore condizione possibile".

La variabile 3 è stata preventivamente investigata con 4 simulazioni al variare della grandezza d indicata in figura.

In ogni caso si è registrato il fatto che l'assottigliamento massimo raggiunto al termine della prima piega non cambia al termine della seconda piega. Quindi si è dedotto che non esiste interazione tra pieghe successive.



	<i>d</i> values
U1	$1.5D=54 \text{ mm}$
U2	$0.9 \times 1.5D=48.6 \text{ mm}$
U3	$0.8 \times 1.5D=43.2 \text{ mm}$
U4	$0.5 \times 1.5D=27 \text{ mm}$

Piano degli esperimenti

	run	t	D/t	R/D	ang		run	t	D/t	R/D	ang	
FFD	1	-1	-1	-1	-1	Central point	9	0	0	0	0	
	2	-1	-1	1	1		Star points	10	0	-2	0	0
	3	-1	1	-1	1			11	0	2	0	0
	4	-1	1	1	-1			12	0	0	-2	0
	5	1	-1	-1	1			13	0	0	2	0
	6	1	-1	1	-1			14	0	0	0	-2
	7	1	1	-1	-1			15	0	0	0	2
	8	1	1	1	1							

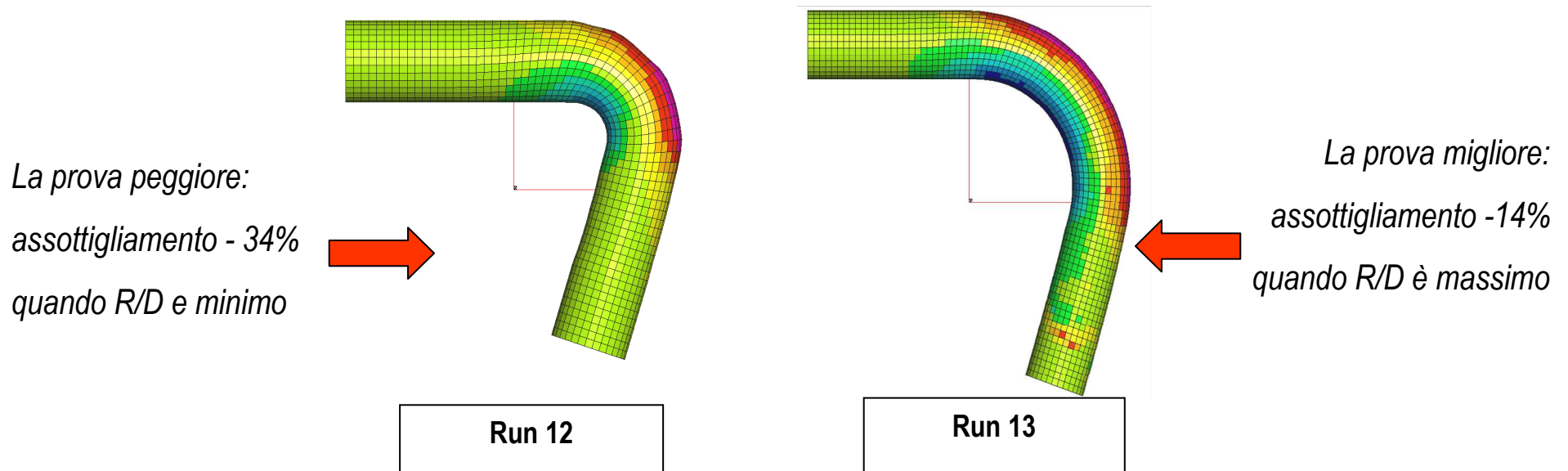
↑
Piano fattoriale frazionato 2^{4-1}
(risoluzione IV)

L'effetto dell'angolo di piega si confonde con un eventuale interazione simultanea degli altri 3 fattori

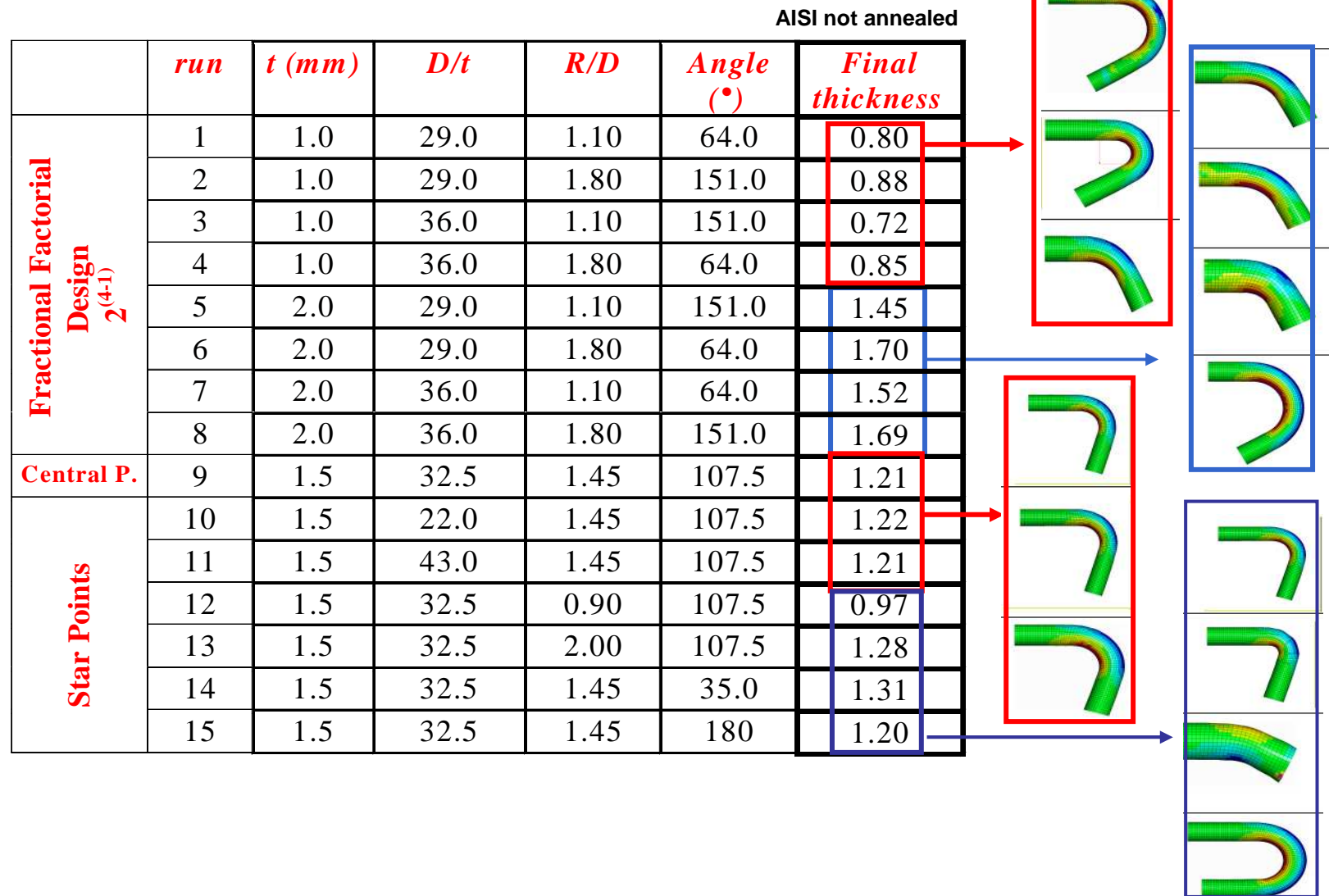
↑
Lo spessore non ha punti di stella, si sceglie quindi di fissarlo al valore centrale

Esecuzione delle prove ed elaborazione risultati

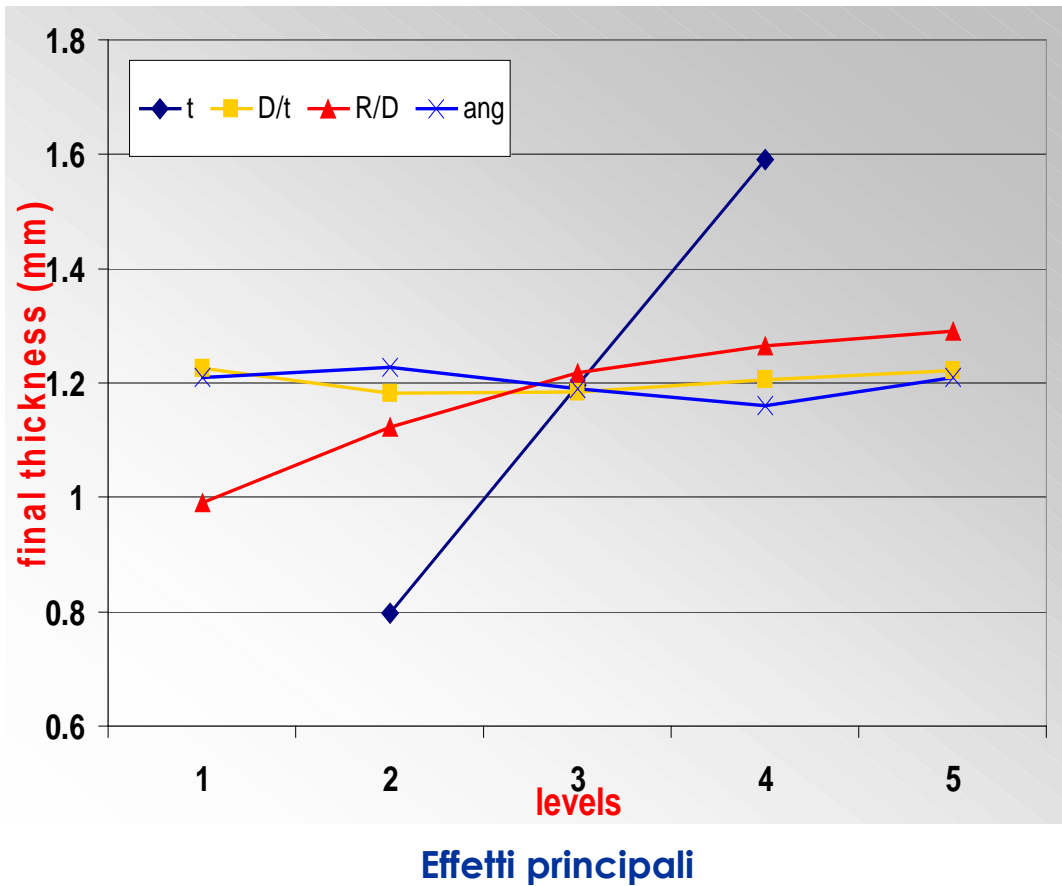
AISI321 annealed															
	# 1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
t (mm)	0.81	0.80	0.73	0.85	1.41	1.71	1.54	1.70	1.222	1.225	1.221	0.990	1.290	1.210	1.210
thinning	-19%	-20%	-27%	-15%	-30%	-15%	-23%	-15%	-19%	-18%	-19%	-34%	-14%	-19%	-19%
AISI321 not annealed															
	# 1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
t (mm)	0.805	0.881	0.723	0.852	1.451	1.701	1.524	1.692	1.212	1.219	1.209	0.970	1.276	1.311	1.202
thinning	-19%	-12%	-28%	-15%	-27%	-15%	-24%	-15%	-19%	-19%	-19%	-35%	-15%	-13%	-20%



Esecuzione delle prove ed elaborazione risultati



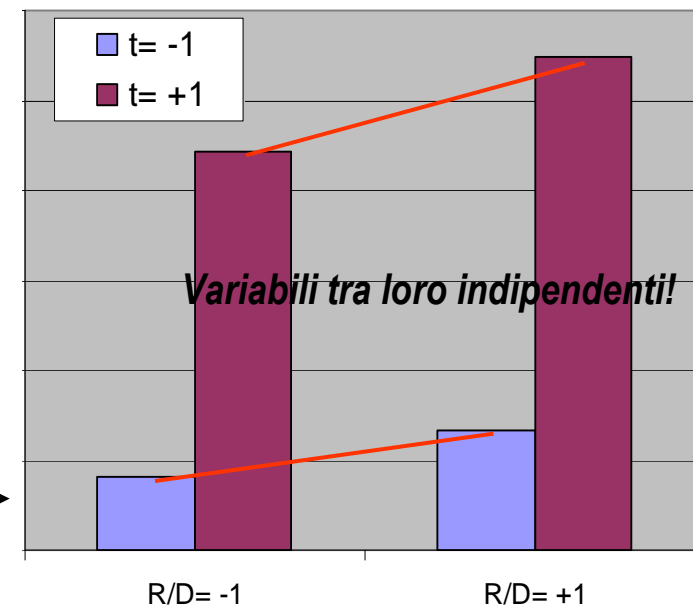
Esecuzione delle prove ed elaborazione risultati



Dal piano fattoriale frazionato deduciamo che tra loro non c'è interazione.

Lo spessore ed il rapporto R/D sono le due variabili che influenzano maggiormente la risposta nel dominio in esame.

R/D non ha un effetto lineare, contrariamente allo spessore



Elaborazione risultati: modello di regressione

Dall'insieme delle 15 prove è possibile ricavare un modello di regressione per lo spessore finale.

$$\text{Final thickness} = 0.145 - 0.275 * 1 / (R/D)^2 + 0.807 * t \quad \text{AISI321 not annealed}$$

$$\text{Final thickness} = 0.162 - 0.297 * 1 / (R/D)^2 + 0.769 * t \quad \text{AISI321 annealed}$$

Come era prevedibile i coefficienti significativi sono quelli relativi a R/D (introdotto al quadrato) e t.

Modello di regressione: prove di convalida

10 calcoli FEM stabiliti in maniera random hanno permesso di valutare l'errore di previsione di tale formule, che è risultato inferiore al 5%.

Inoltre sono state fatte anche delle indagini spe

per due angoli: 90° e 85°, spessore iniziale 2 mm e D=50mm con R/D=1. In questi casi la formula sovrastima lo spessore finale del 3.7%.

N.B. lo spessore iniziale è al bordo del dominio, dove l'errore di regressione è maggiore

