

# COMPONENTI IN LEGA DI ALLUMINIO COLATI A PRESSIONE CHE LAVORANO A FATICA

R. Doglione<sup>a</sup>, S. Mazzeo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> INSTM, Unità di Torino Politecnico, corso Duca degli Abruzzi  
24, 10129 Torino, mail [roberto.doglione@polito.it](mailto:roberto.doglione@polito.it), tel. 011-  
0904612, fax 011-0904612

<sup>b</sup> Politecnico di Torino, Dipartimento DISAT

# INTRODUZIONE

## Scopo della ricerca

- aprire nuove prospettive applicative per la colata a pressione nella fonderia di alluminio
- esplorare la possibilità di produzione di componenti per veicoli terrestri che lavorano a fatica
- studiare il progetto preliminare di un braccio di sospensione in lega Al-Si-Cu
- valutare la possibilità di applicazione del trattamento termico T6 sul componente.

## Approccio della resistenza a fatica

- studio dello stato di stress del componente in funzione del suo disegno strutturale
- valutazione del massimo stress principale in condizioni di servizio
- stima preliminare semplificata della resistenza a fatica trascurando l'approccio multiassiale
- sperimentazione su provette standard con prove di fatica a flessione rotante e di fatica assiale
- valutazione dell'effetto dei difetti tipici dei prodotti colati a pressione.

# LEGHE CONSIDERATE

Lega	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
EN AW 6063	0,45	0,35 max	0,10 max	0,45 max	0,7	0,10 max	0,10 max
EN AW 6082	1	0,50 max	0,1 max	0,7	0,9	0,20 max	0,10 max
EN AC AlSi9Cu3(Fe)	9	1,3	3,2	0,35	0,55	1,2	0,25

<u>Trattamento termico</u>	
EN AW 6063	T6
EN AW 6082	T6
EN AC AlSi9Cu3(Fe)	F
EN AC AlSi9Cu3(Fe)	T6*

<u>Resistenza a fatica a 10 milioni di cicli di sollecitazione</u>	
Lega	$\sigma_{7,flex}$ [MPa] a flessione rotante
EN AW 6063-T6	130 (letteratura)
EN AW 6082-T6	100 (letteratura)
EN AC AlSi9Cu3(Fe)-F	120 (letteratura e sperimentale)
EN AC AlSi9Cu3(Fe)-T6*	sperimentale: effetto dei difetti di colata!

# SOSPENSIONI

## Definizione e funzioni

La sospensione è quel complesso di organi che collegano la ruota alla scocca. Funzioni:

- collegare la ruota alla scocca
- consentire, nel caso di sospensione anteriore, la sterzata delle ruote;
- assorbire e smorzare le forze che, durante il moto, agiscono sulla ruota e che, attraverso gli organi della sospensione, sono trasferite alla scocca.

## Missione della sospensione

- Integrità strutturale rispetto alla fatica
- integrità strutturale rispetto ai sovraccarichi improvvisi da urti

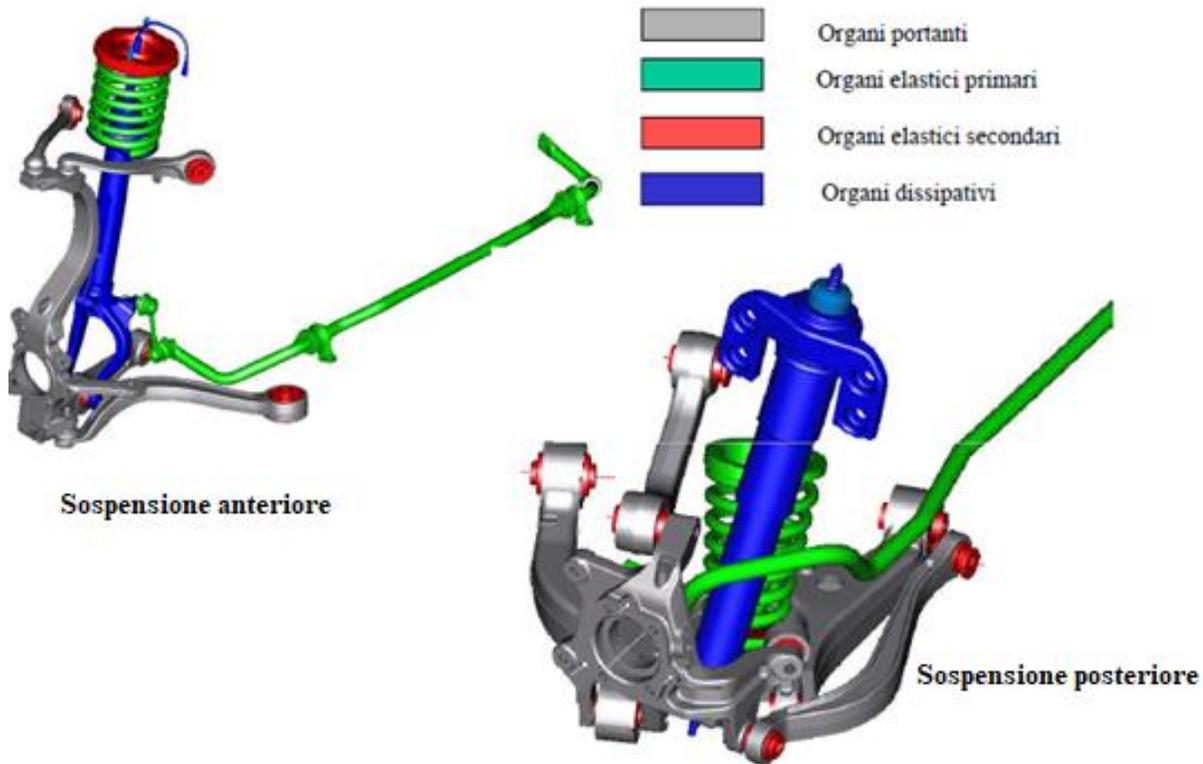
## Approccio al problema

E' stato analizzato solo il primo di questi due aspetti. Note le forze  $F_x$ ,  $F_y$  e  $F_z$  e i momenti  $M_x$ ,  $M_y$  e  $M_z$  agenti sul mozzo della ruota, si può valutare il comportamento a fatica:

- mediante la sperimentazione, impiegando installazioni dedicate (banchi prova)
- utilizzo di CAE, ossia la procedura qui utilizzata.

## Componenti della sospensione

1. organi portanti: collegano ruota e scocca, trasmettono alla scocca le forze scambiate fra ruota e terreno
2. organi elastici primari (molle): sorreggono il peso del veicolo e immagazzinano l'energia durante il moto a causa degli urti delle ruote contro le irregolarità stradali
3. organi elastici secondari (boccole elastiche): garantiscono il filtraggio delle vibrazioni ad alta frequenza
4. organi dissipatori (ammortizzatori): dissipano l'energia immagazzinata dagli elementi elastici e smorzano le oscillazioni della scocca per il comfort di marcia.



	
FLCA ductile iron (Pass car & cross-over)	FLCA aluminum forging (Pass car)
	
FLCA casting (Pass car)	FLCA stamping (Pass car)

# METODOLOGIA FEM E CONDIZIONI DI APPLICAZIONE

La simulazione permette la progettazione dei bracci prima della costruzione di prototipi fisici. Il metodo degli Elementi Finiti (FEA) è utilizzato per i casi riguardanti il “quasi-statico” e per la vita di fatica.

L’analisi strutturale FEA dei braccetti di sospensione è stata effettuata all’interno del software solidThinking **Inspire**® 2019, versione ristretta di HyperWorks di Altair Engineering:

1. analisi strutturale mediante metodo degli Elementi Finiti
2. il software utilizzato permette di svolgere l’analisi di ottimizzazione topologica.

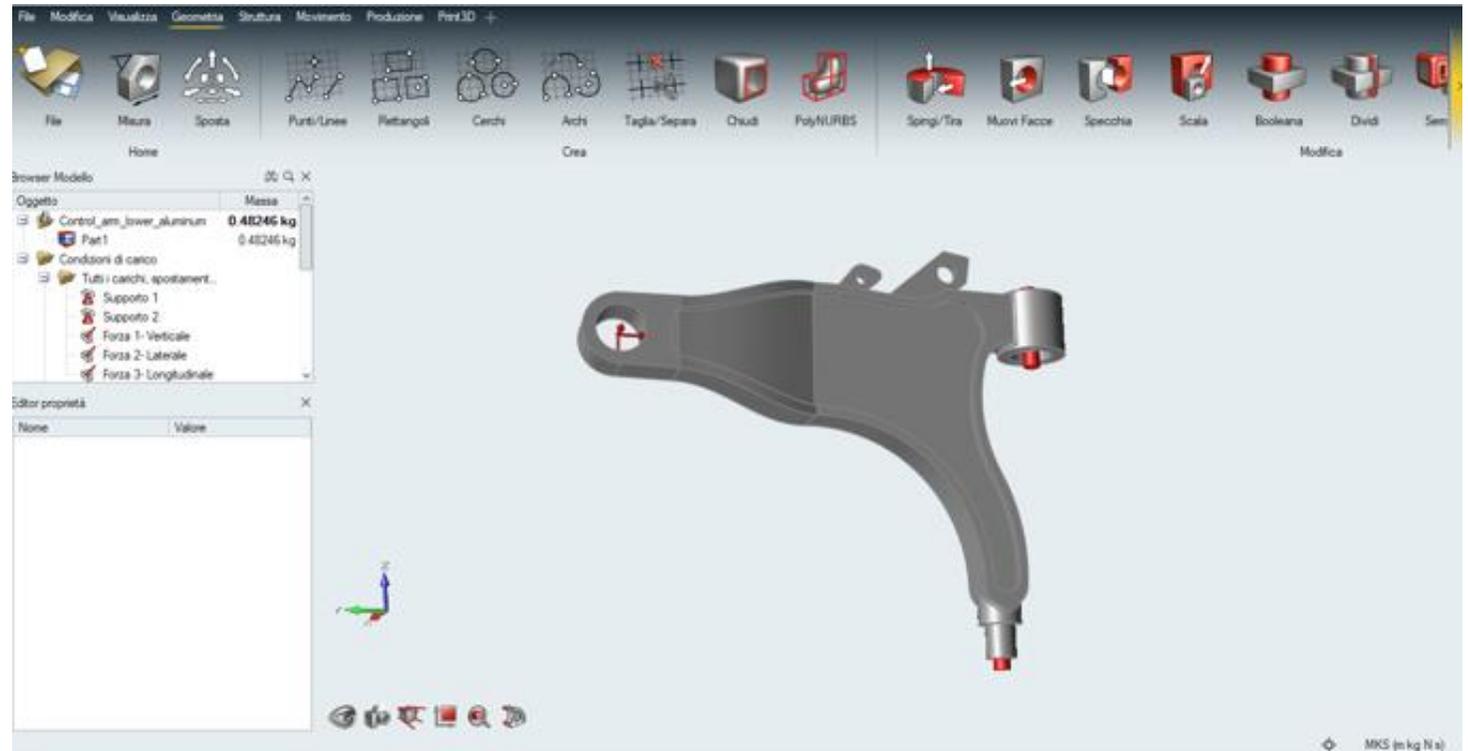
I bracci di sospensione sono in genere progettati per due condizioni di carico:

1. **a fatica**: combinazione di una serie di eventi di carico singoli o cicli a blocchi generati durante le condizioni di guida “normale”; non sono presenti eventi speciali o carichi massimi
2. **carico improprio**: riguarda i carichi che appaiono solo poche volte nel corso della vita del veicolo, come eventi speciali e di uso improprio.

# IMPOSTAZIONE DELL'ANALISI STRUTTURALE

Il punto di partenza per la progettazione è un braccio di sospensione in acciaio presente online sul sito *Grabcad*. Si applicano carichi estratti da rilievi su strada da prove presenti in letteratura automobilistica. Si è definita la condizione più gravosa che un braccio di sospensione può subire durante il suo utilizzo sull'autoveicolo:

- $F_x$  = Forza Longitudinale pari a 5500 N
- $F_y$  = Forza Laterale pari a 5500 N
- $F_z$  = Forza Verticale pari a 2000 N.



Sulla configurazione iniziale è stato applicato Inspire, dopo aver importato il modello CAD del braccio di sospensione.



Il modulo *Inspire* più utilizzato è *Struttura*, che contiene la maggior parte delle funzioni necessarie ad impostare i vincoli per l'analisi strutturale FEM e per l'analisi di ottimizzazione topologica.

The 'Parti e materiali' dialog box is open, showing the 'Libreria materiali' tab. The 'Materiali' icon in the toolbar is highlighted. The dialog box contains a table with the following data:

Materiale	E	Nu	Densità	Carico di snervamento	Coefficiente di espansione termica
Aluminum 46000 - AlSi9Cu3(Fe)	7.000000E+10Pa	0.330	2.720E+3 kg/m3	140.000E+06 Pa	21.000E-06 /K
Aluminum (6012-T6)	6.900000E+10Pa	0.330	2.750E+3 kg/m3	320.000E+06 Pa	23.400E-06 /K
Aluminum (6063-T6)	6.900000E+10Pa	0.330	2.700E+3 kg/m3	200.000E+06 Pa	23.000E-06 /K
Aluminum (6060-T6)	6.900000E+10Pa	0.330	2.700E+3 kg/m3	200.000E+06 Pa	25.300E-06 /K
Aluminum (6005-T5)	6.900000E+10Pa	0.330	2.700E+3 kg/m3	220.000E+06 Pa	23.000E-06 /K
Aluminum (6082-T6)	6.900000E+10Pa	0.330	2.700E+3 kg/m3	310.000E+06 Pa	23.400E-06 /K

Nel modulo *Materiali* si sceglie il materiale del componente e i relativi dati fisici e meccanici.

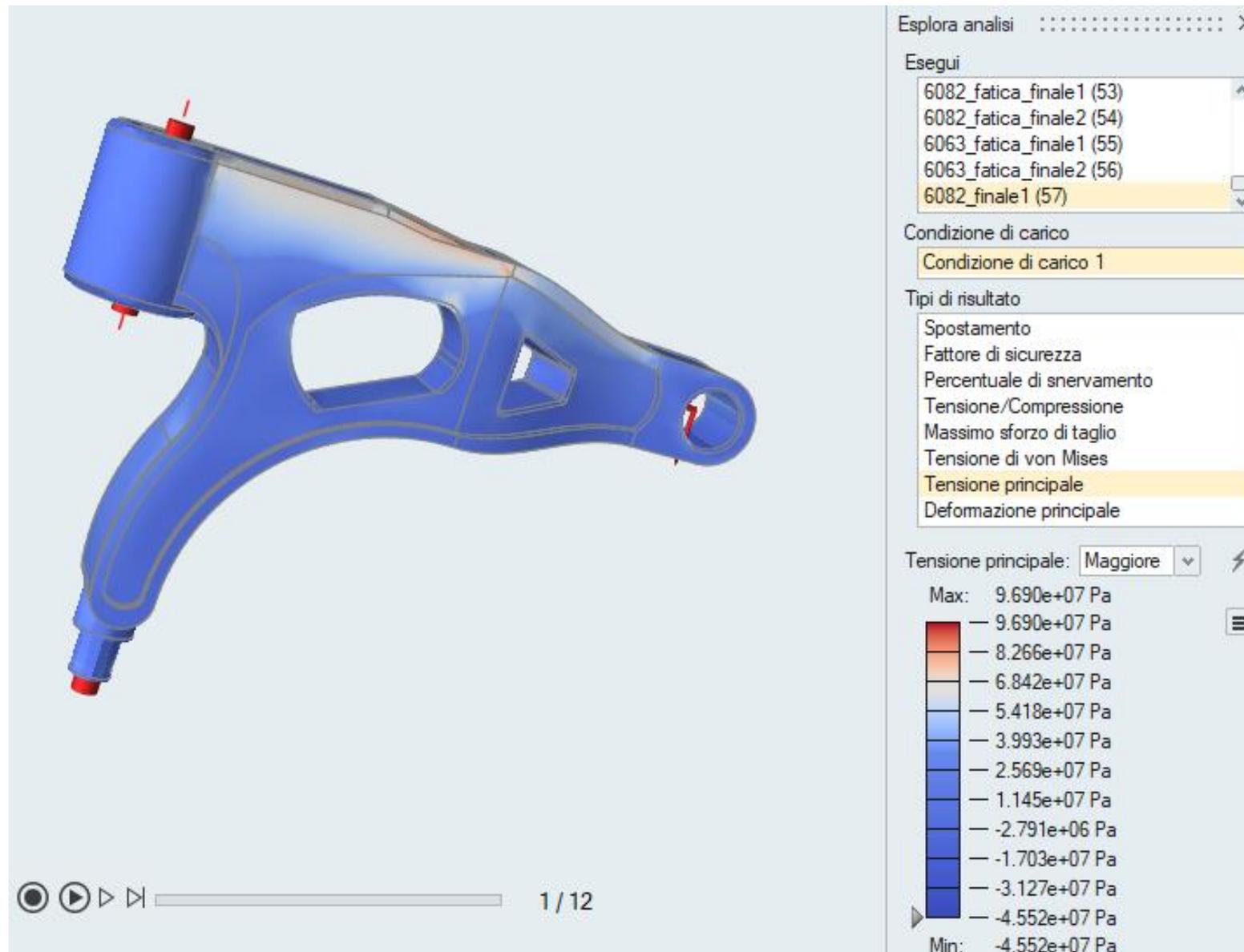
# AFFINAMENTO DEL CALCOLO

Dopo una prima analisi, si è modificata la geometria del componente, usufruendo della funzione *Geometria* in quanto le tensioni principali risultanti risultavano molto elevate. Ad ogni modifica geometrica è seguita sempre un'analisi strutturale del componente.

1. Aumento lo spessore del componente
2. Creazione di due fori nella parte centrale della nervatura al fine di diminuire la massa del componente
3. Aggiunta di raccordi e smussi in modo da evitare gli effetti di intaglio dei cosiddetti "spigoli vivi".

È stata ottenuta una configurazione di braccio di sospensione con una **tensione principale massima** pari **97 MPa**, ossia inferiore al valore di resistenza a fatica per  $10^7$  cicli delle leghe interessate.

La forma finale è stata definita come la configurazione ultima soltanto per la lega EN AW 6063-T6 e la lega EN AW 6083-T6, ossia quelle prodotte tramite deformazione plastica. Invece, si è deciso per la lega da getti EN AC AlSi9Cu3(Fe) di adoperare la funzione di ottimizzazione topologica di *Inspire*.

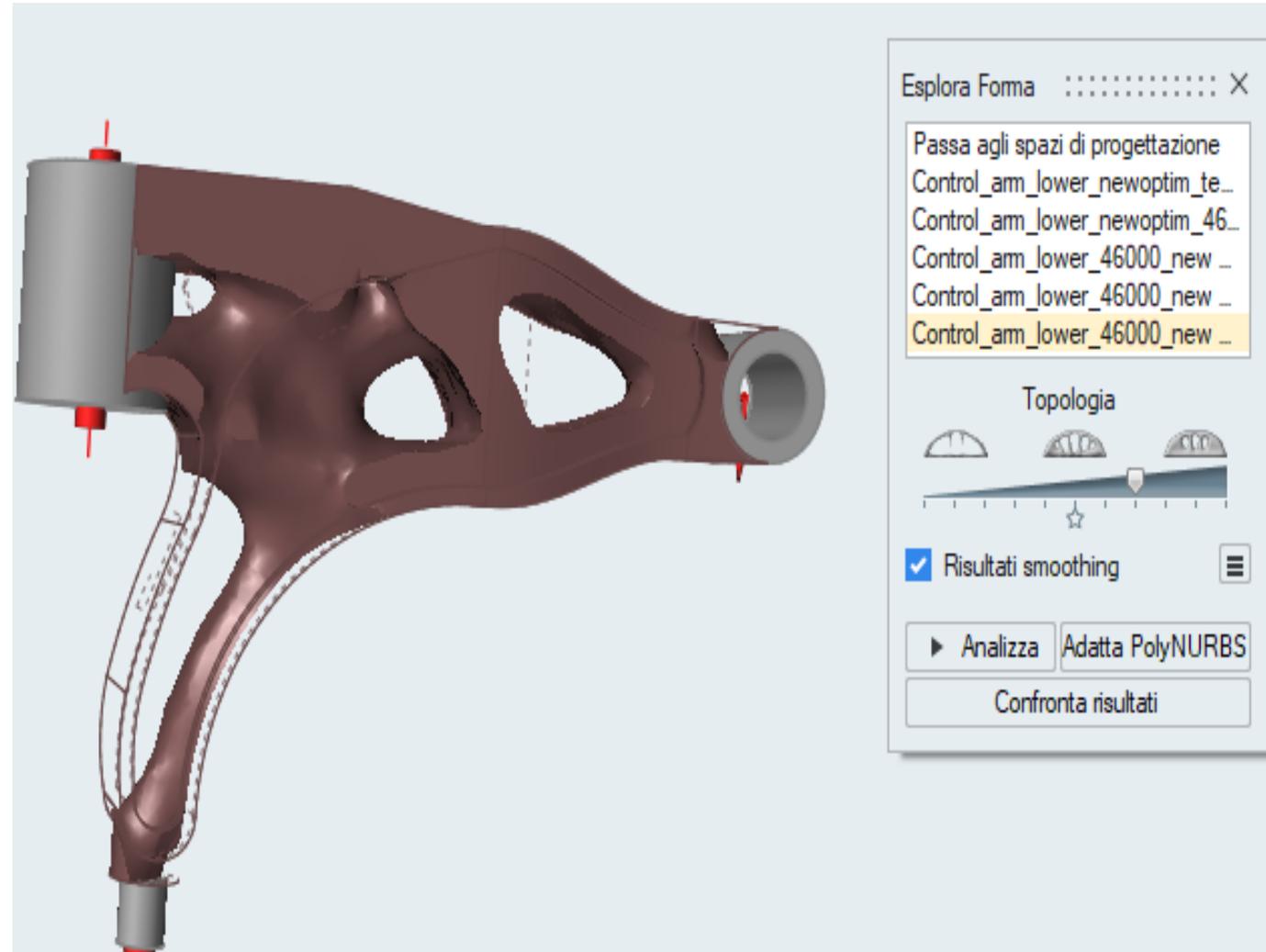


Configurazione finale per lega EN AB 6063-T6 e lega EN AB 6083

# OTTIMIZZAZIONE TOPOLOGICA

Con l'ottimizzazione topologica si rimuove o ridistribuisce il materiale che non viene utilizzato in modo efficiente. E' possibile una forma innovativa per il prodotto, identificando zone necessarie al raggiungimento del target:

- **Minimizzazione della massa di progetto**
- **Massimizzazione della rigidità del componente**
- Tecnologia produttiva
- Carichi applicati
- Condizioni di funzionamento.



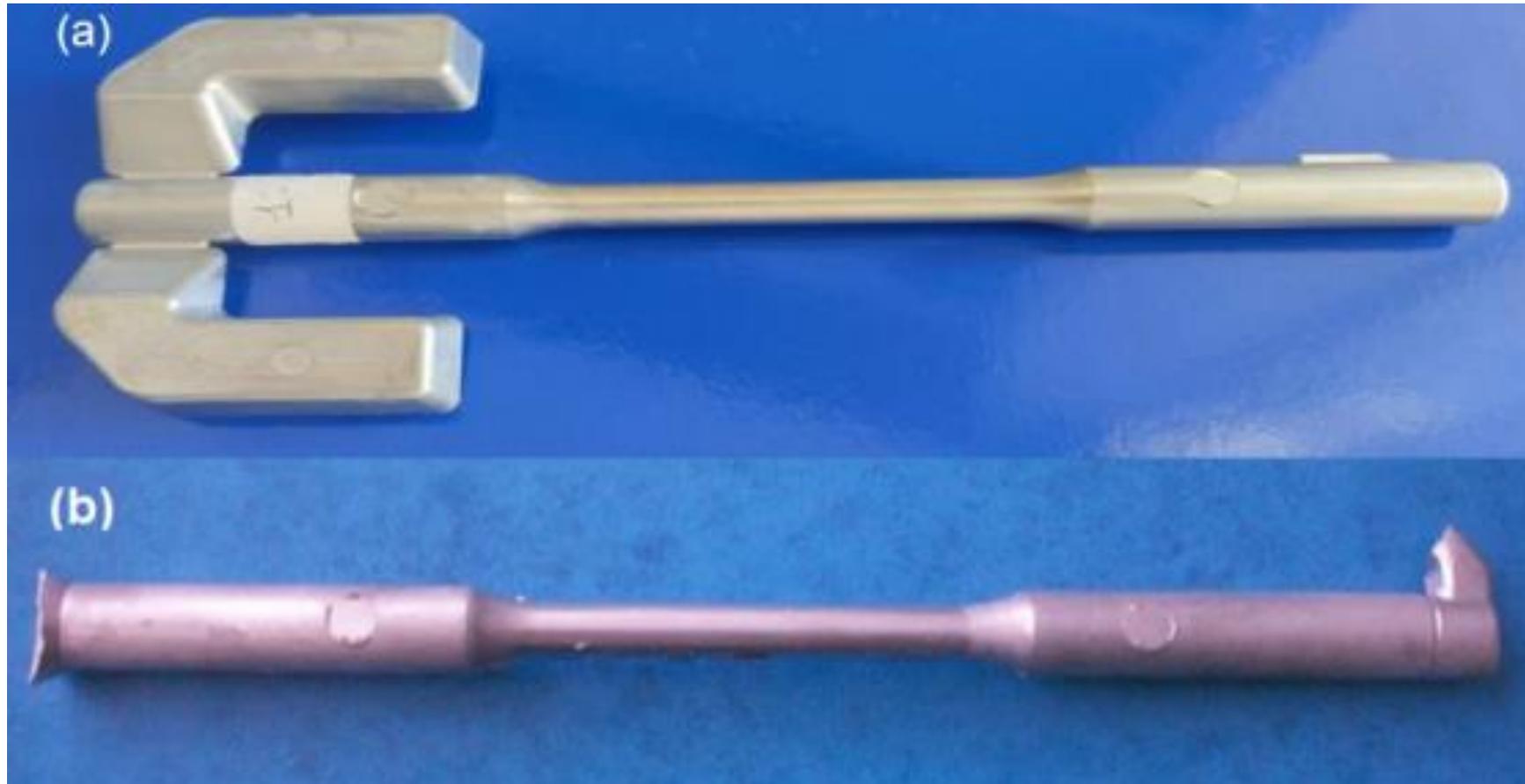
# RISULTATI DEL CALCOLO

Oltre a dati di stress, è importante segnalare la riduzione della massa. Lo stesso componente in acciaio pesava 1,429 kg, utilizzando alluminio si risparmiano circa 0,5 kg di materiale.

Lega	Max stress principale [MPa]	Massa [kg]	Coefficiente di sicurezza a fatica
EN AW 6082 –T6	97	0,95	1,34
EN AW 6063 –T6	97	0,94	1,03
EN AC-AISi9Cu3(Fe)-F come disegno EN AW	97	0,95	1,24
EN AC-AISi9Cu3(Fe)-F max rigidezza, min massa	83	0,88	1,45

# CONFRONTO CON DATI SPERIMENTALI DI RESISTENZA A FATICA

## Resistenza a fatica del grezzo di colata-stair case (ISO 12107:2012)



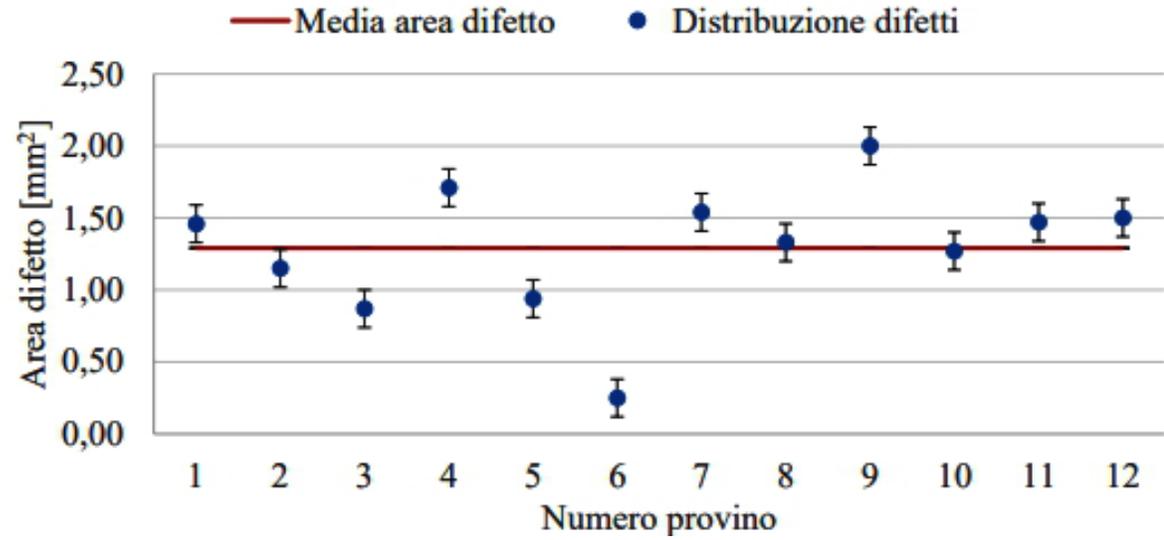
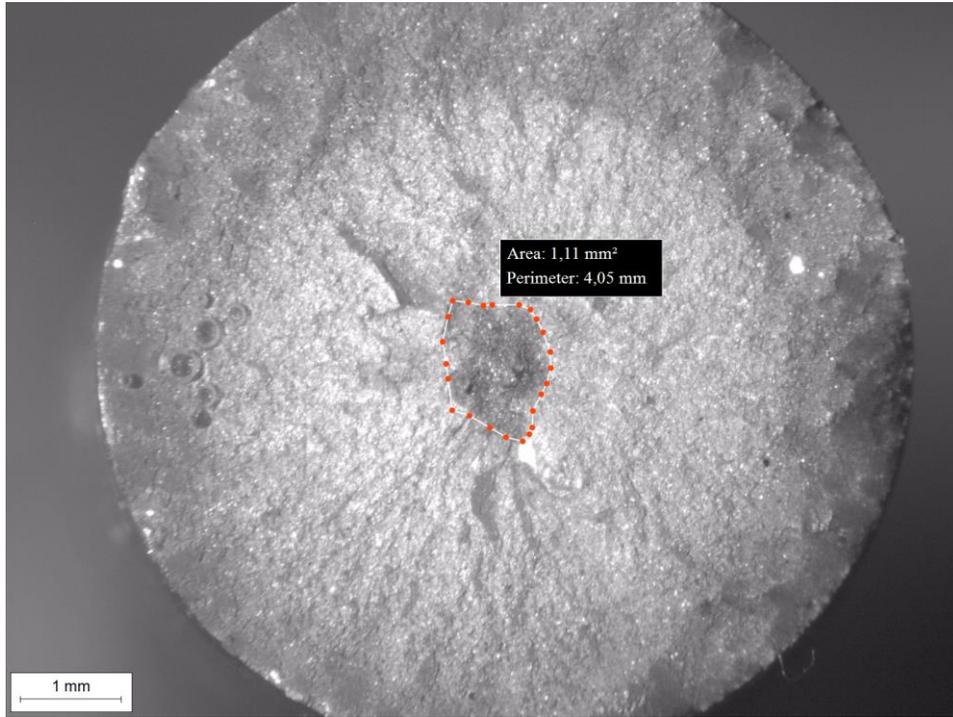
Prove di fatica flessione rotante $R=-1$ ; $\sigma_m=0$ Mpa; $N=10$ Mcicli																		
d =	6 MPa		1 = ROTTA ; 0 = NON ROTTA															
	Esito		$\sigma_a$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	1	0	MPa															
	2	0	126	1				1										
	4	1	120		1		0		1		1		1					
	3	3	114			0				0		0		1		1		1
	0	2	108												0		0	
tot	9	6	Evento meno frequente	NON ROTTA														

Stair case a flessione rotante (F)

Prove di fatica assiale $R=-1$ ; $\sigma_m=0$ MPa; $N=10$ Mcicli																
d =	6	MPa	1 = ROTTO ; 0 = NON ROTTO													
	Esito		$\sigma$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	1	0	MPa													
	2	0	118						1		1					
	2	2	112					0		0		1		1		
	0	3	106				0						0		0	
	1	1	100	1		0										
	0	1	94		0											
tot	5	7	Evento meno frequente	ROTTO												

Stair case a fatica assiale (F)

# Resistenza a fatica dopo trattamento T6\*-stair case (ISO 12107:2012)



Prove di fatica flessione rotante $R=-1$ ; $\sigma_m=0$ MPa; $N=10$ Mcicli																	
d =	6	MPa	1 = ROTTO ; 0 = NON ROTTO														
	Esito	$\sigma$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	1	MPa															
	1	0	156	1													
	1	1	150	0	1	1											
	2	0	144			1	1										
	2	1	138				0	1	1								1
	3	1	132						1	1				1		0	
	0	3	126								0		0	0			
tot	9	6	Evento meno frequente		NON ROTTO												

Stair case a flessione rotante (T6\*)

Prove di fatica assiale R=-1; $\sigma_m=0$ MPa; N=10 Mcicli																	
d=	8	MPa	1 = ROTTO ; 0 = NON ROTTO														
	Esito	$\sigma$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	1	0	MPa														
	1	0	103	1													
	1	0	95		1												
	2	0	87			1		1									
	3	1	79				0		1		1		1				
	2	2	71						0		0		1		1		
	0	2	63											0		0	
tot	9	5	Evento meno frequente	NON ROTTO													

Stair case a fatica assiale (T6\*)

Lega	Massa [kg]	$\sigma_{princ,max}$ [MPa]	$\sigma_{7,flex}$ [MPa]	$\sigma_{7,ax}$ [MPa]
EN AW 6082 –T6 disegno	0,95	<b>97</b>	130	-
EN AW 6063 –T6 disegno	0,94	<b>97</b>	100	-
EN AC- $AlSi9Cu3(Fe)$ -F disegno	0,95	<b>97</b>	120	109
EN AC- $AlSi9Cu3(Fe)$ -F max rigidezza,min massa	0,88	<b>83</b>	116	109
EN AC- $AlSi9Cu3(Fe)$ -T6* max rigidezza,min massa	0,88	<b>83</b>	136	73

# CONCLUSIONI

- 1. Con accurata progettazione dello stampo è possibile produrre un braccio di sospensione con difettosità molto contenuta allo stato grezzo di colata, che può resistere a fatica nelle condizioni di progetto**
- 2. E' possibile ottimizzare la forma del braccio di sospensione con ulteriori riduzioni della sua massa e diminuzione dello stato di stress**
- 3. Il T6 è delicato e va ottimizzato anche se si evita il blistering**
- 4. L'approccio presentato è preliminare, andrà affinato valutando la resistenza a fatica del componente in condizioni di stress multiassiale.**