



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO  
FACOLTA' DI INGEGNERIA MECCANICA



**METODOLOGIA DI REALIZZAZIONE DI UN  
PORTAMOZZO: DALLA FUSIONE IN GRAVITA'  
ALLA FUSIONE IN BASSA PRESSIONE**



## *Sommario*

- Obiettivo
- Il progetto in gravità
- Il progetto in bassa pressione
- Confronto metallurgico delle due tecnologie
- Confronto economico delle due tecnologie
- Conclusioni



## *Obiettivo*

Questo lavoro di tesi ha lo scopo di fornire una **metodologia di confronto** tra **due diverse tecnologie di fusione**, per la realizzazione di un portamozzo di un gruppo sospensione auto, sia dal **punto di vista delle caratteristiche meccaniche** del pezzo ottenuto, che dal **punto di vista economico**, attraverso:

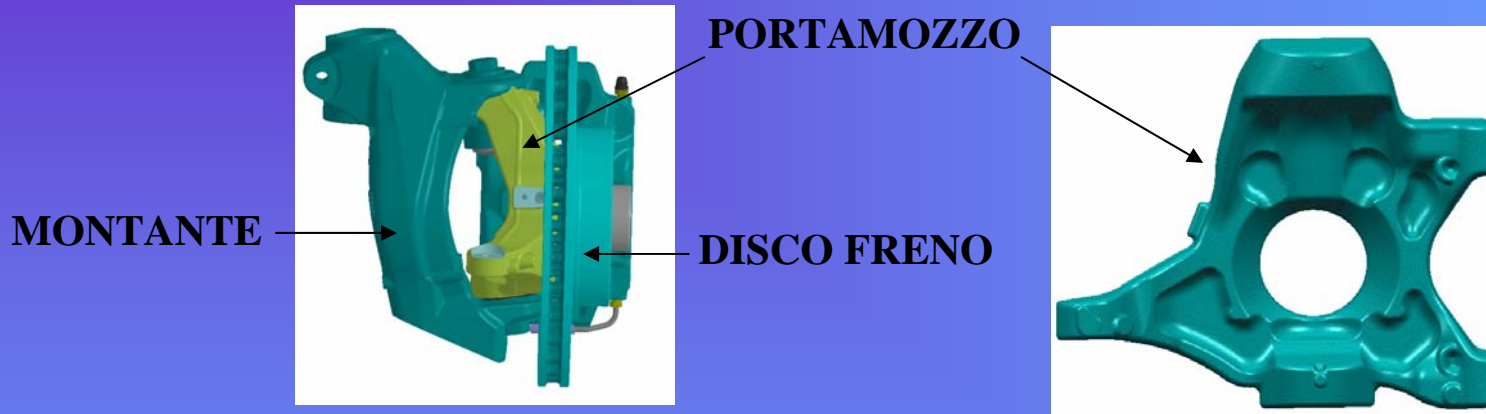
- ➔ l'analisi dell'**industrializzazione** del portamozzo ottenuto per fusione **in gravità**;
- ➔ la formulazione di ipotesi per adattare il pezzo ai vincoli progettuali della **tecnologia in bassa pressione**, con conseguente svolgimento di prove di fusione mediante **l'impiego di un software di simulazione di colata**.



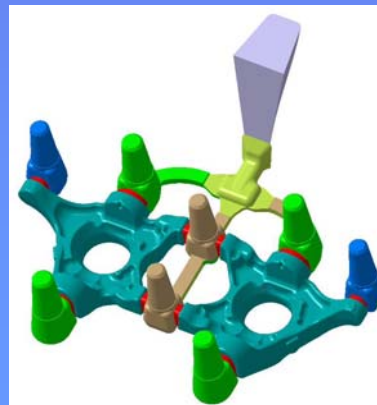
## La gravità

L'azienda ha progettato il portamozzo per la fusione in gravità. L'industrializzazione si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- **progettazione** del pezzo meccanico secondo le esigenze del cliente;



- **messa a punto del pezzo** per la tecnologia di fusione in gravità con il supporto del simulatore di colata ProCAST™;





- progettazione e produzione dello stampo;



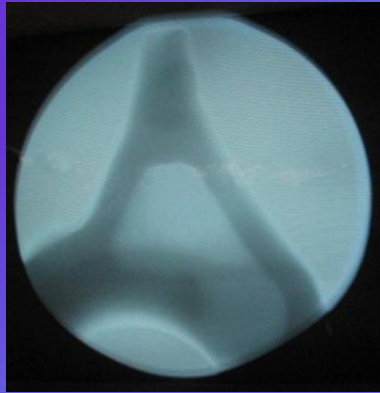
- preparazione e controllo dello stampo;



- svolgimento di prove di fusione per mettere a punto i parametri di processo che ottimizzano la qualità metallurgica del getto;

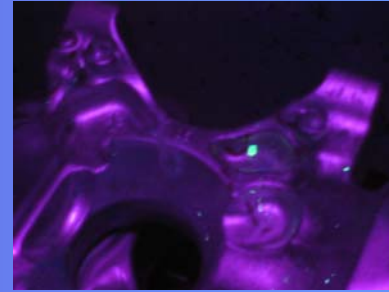
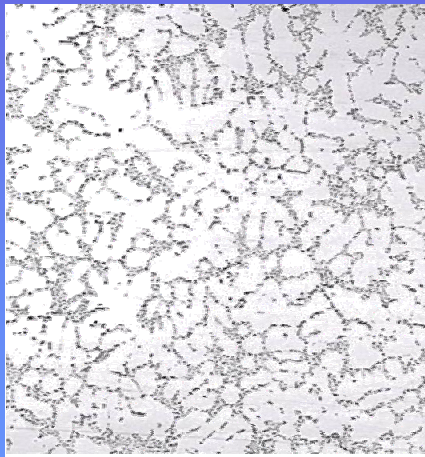


- esecuzione di **controlli** qualitativi e **prove** tecnologiche sul getto;



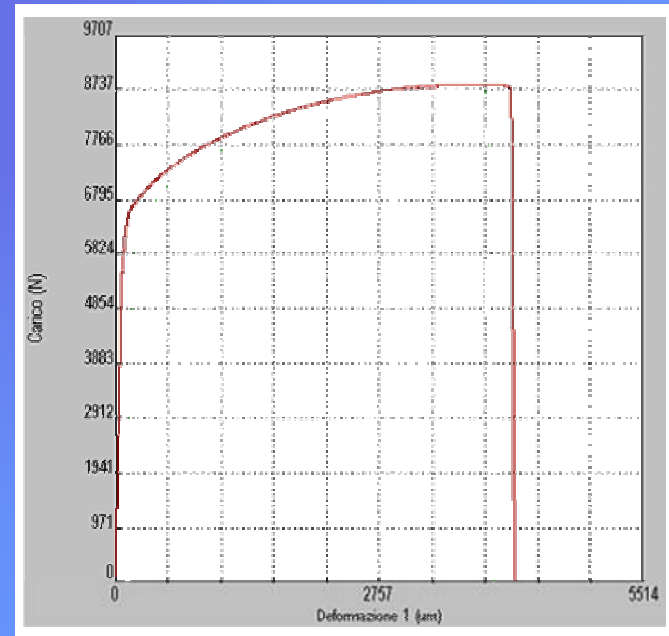
Raggi X

Micrografie



Liquidi Penetranti

Prove di Trazione



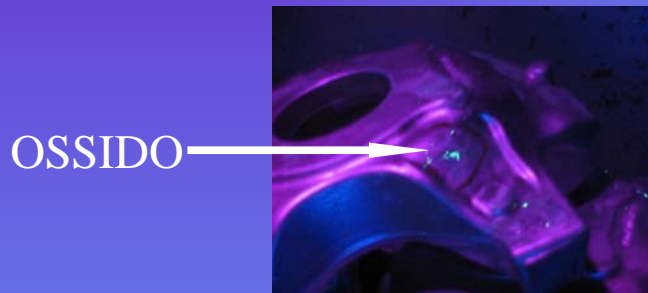
- svolgimento di diverse **riunioni tecniche** per migliorare il processo fino alla validazione dello stesso.





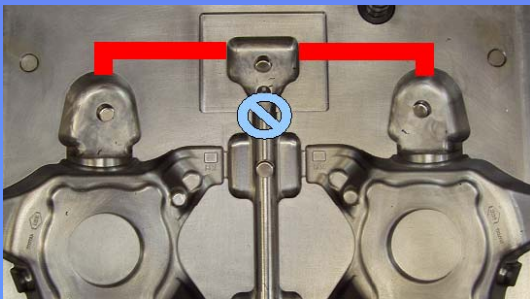
Per il portamozzo in analisi sono state effettuate **tre campionature** con conseguenti prove e controlli; i principali problemi riscontrati con le relative soluzioni sono:

- **Problema1**: presenza di ossidi e di una linea di giunzione.

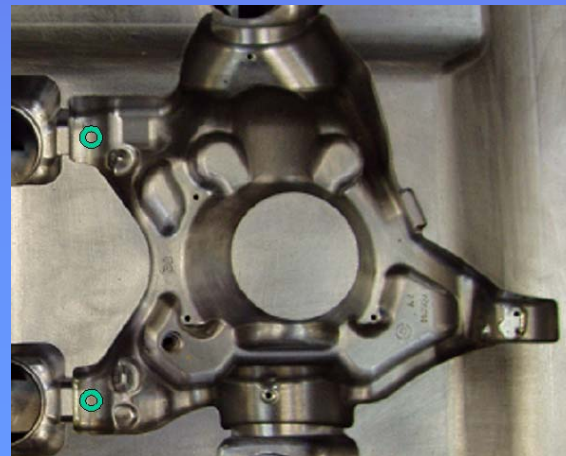


- **Soluzione**:

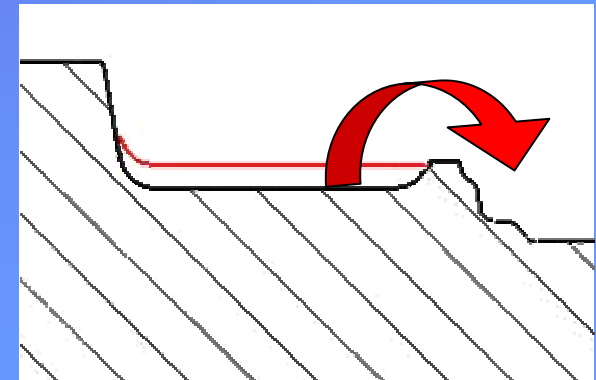
Modifica dei rami di colata per ottenere un “lavaggio” della figura



Aggiunta di arie di sfogo nelle zone sensibili



Abbassamento della base della montantatura





- **Problema2**: nel braccio dello sterzo i risultati delle prove di trazione sono ai limiti richiesti e la dimensione dello S.D.A.S. è troppo elevata.
- **Soluzione**: aggiunta di un raffreddamento nella zona sensibile.

Le micrografie e le prove di trazione, effettuate su getti della prima e della seconda campionatura, sono servite per affermare l'effetto positivo dell'aggiunta del raffreddamento sul braccio sterzo.

ZONA	S.D.A.S. [ $\mu\text{m}$ ]
1	35
2	43
3	38
4	51

$R_m=285\text{MPa}$

$R_s=200\text{MPa}$

Prima campionatura

AUMENTATI



$R_m=300\text{MPa}$

$R_s=214\text{MPa}$

ZONA	S.D.A.S. [ $\mu\text{m}$ ]
1	32
2	42
3	35
4	49

DIMINUITI

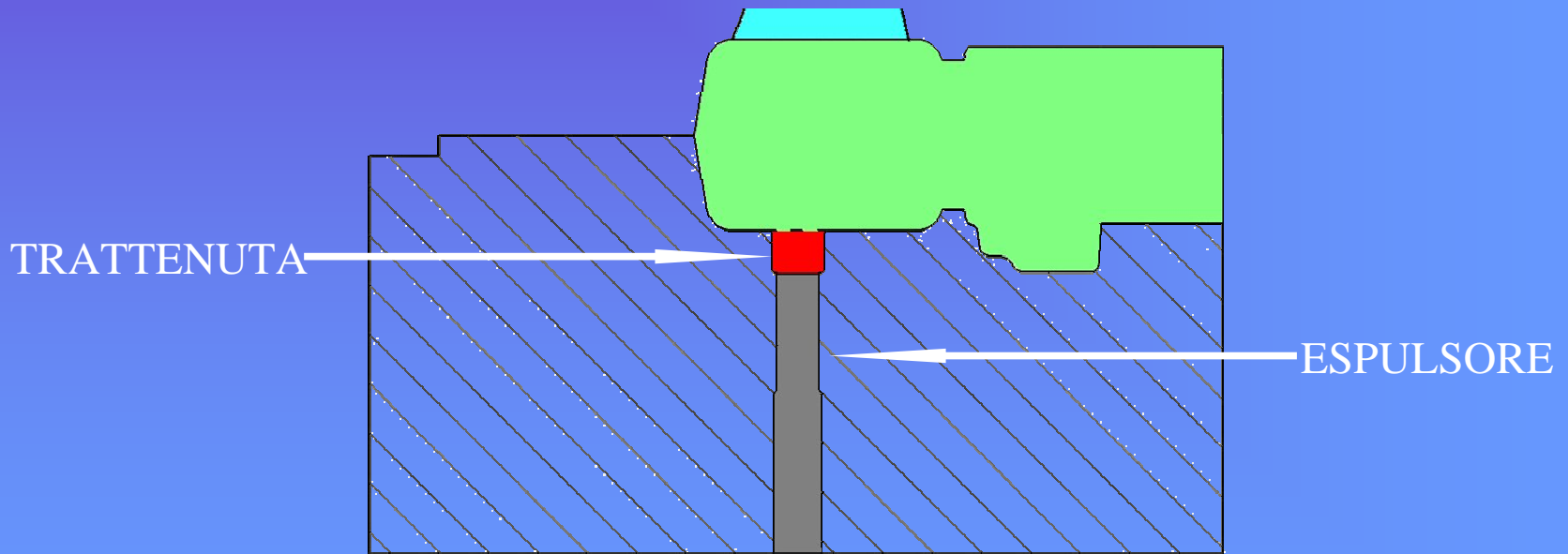


Seconda campionatura





- *Problema3*: il sistema di estrazione non è completamente efficace, il getto tende a restare nella metà stampo superiore.
- *Soluzione*: creazione di zone accessorie con funzione di “trattenute”.





## *La preserie*

Al termine delle tre campionature, dopo aver effettuato tutti i controlli e le prove necessarie, ha inizio l'attività di preserie.

Pertanto **tutte le attività di industrializzazione del progetto sono da considerarsi concluse.**



Dopo aver analizzato in ogni sua fase l'industrializzazione del portamozzo prodotto in gravità, **si è deciso di proporre e studiare, mediante simulazione di colata, una tecnologia alternativa di fusione: la bassa pressione.**



## *Il simulatore ProCAST™*

### La simulazione di colata consente di analizzare:

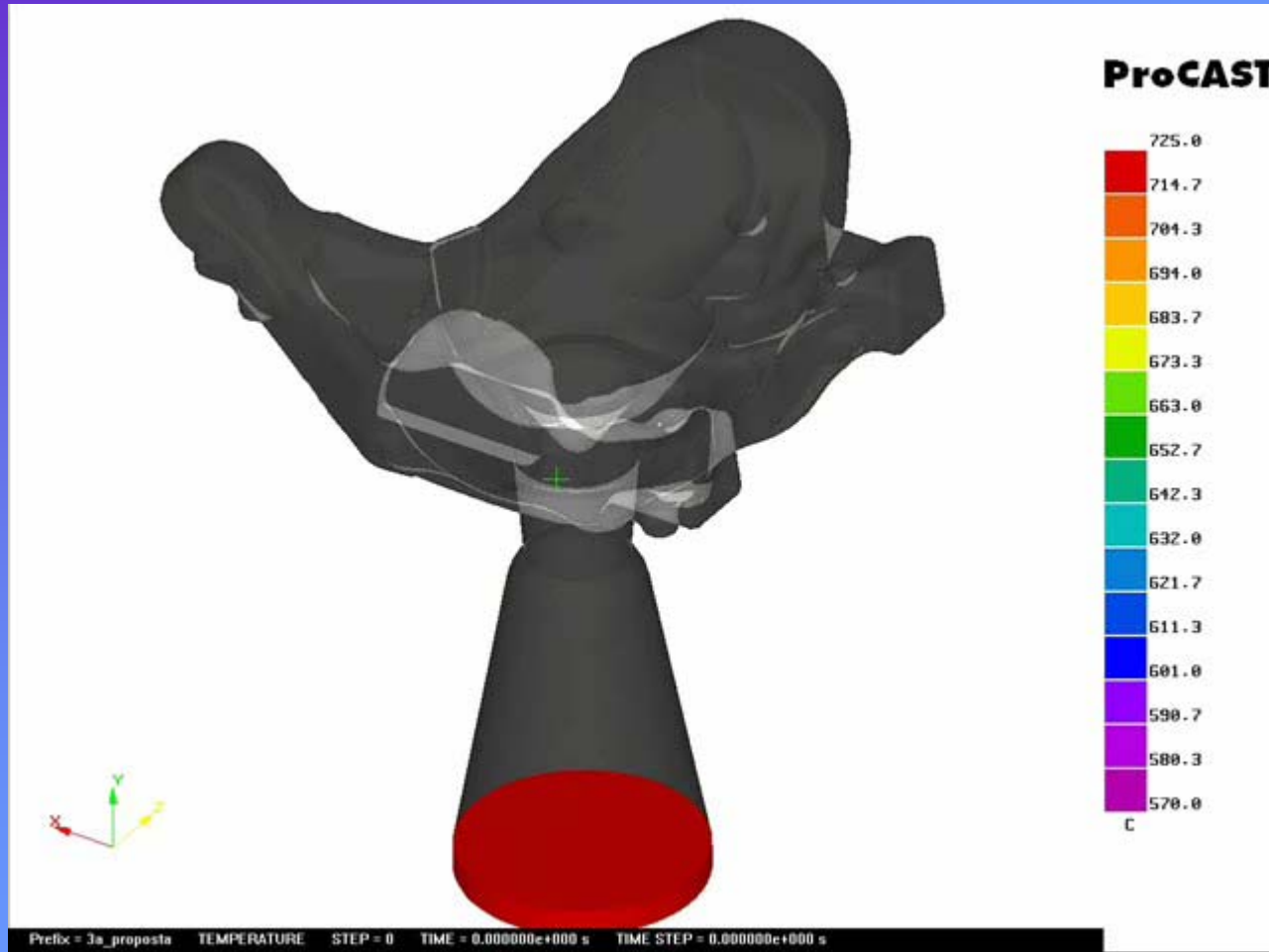
- il riempimento dell'impronta, velocità, pressioni e temperature;
- solidificazione, raffreddamento e frazione solida;
- l'andamento dello S.D.A.S (*Secondary Dendrite Arm Space*) indicatore della dimensione del grano cristallino.

### Nel simulatore vanno impostati diversi parametri:

- *assegnamento del materiale*: X37CrMoV51KU (AISI H11), AISI7 (designazione UNI);
- *impostazione dell'interfaccia*: traduce lo scambio termico tra le varie parti costituenti lo stampo (coefficiente di scambio termico [W/m<sup>2</sup>K])
- *impostazione condizioni al contorno*: traducono l'interazione con l'ambiente, i raffreddamenti e le condizioni iniziali dello stampo nel ciclo di fusione.

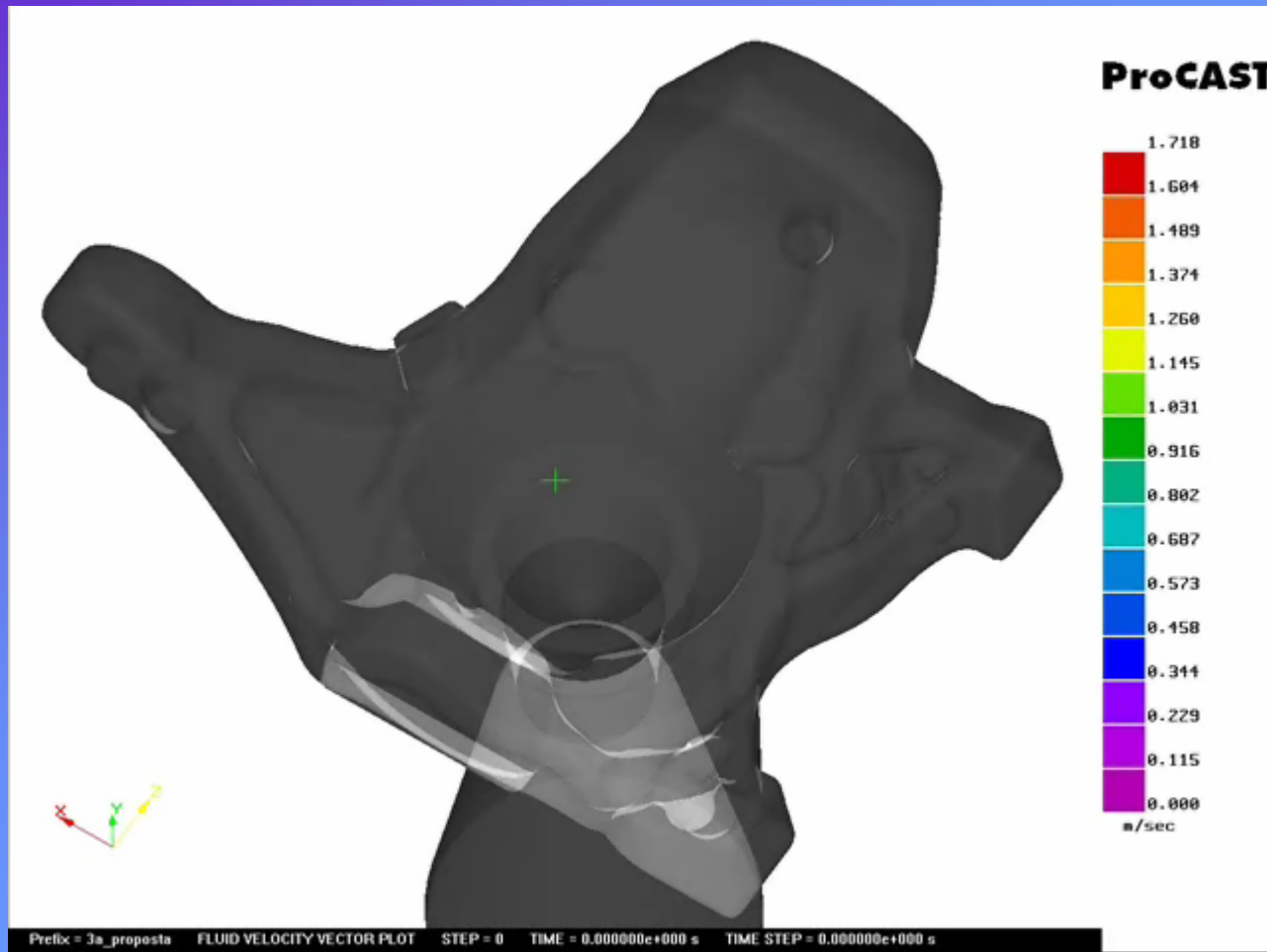


# Riempimento e temperature



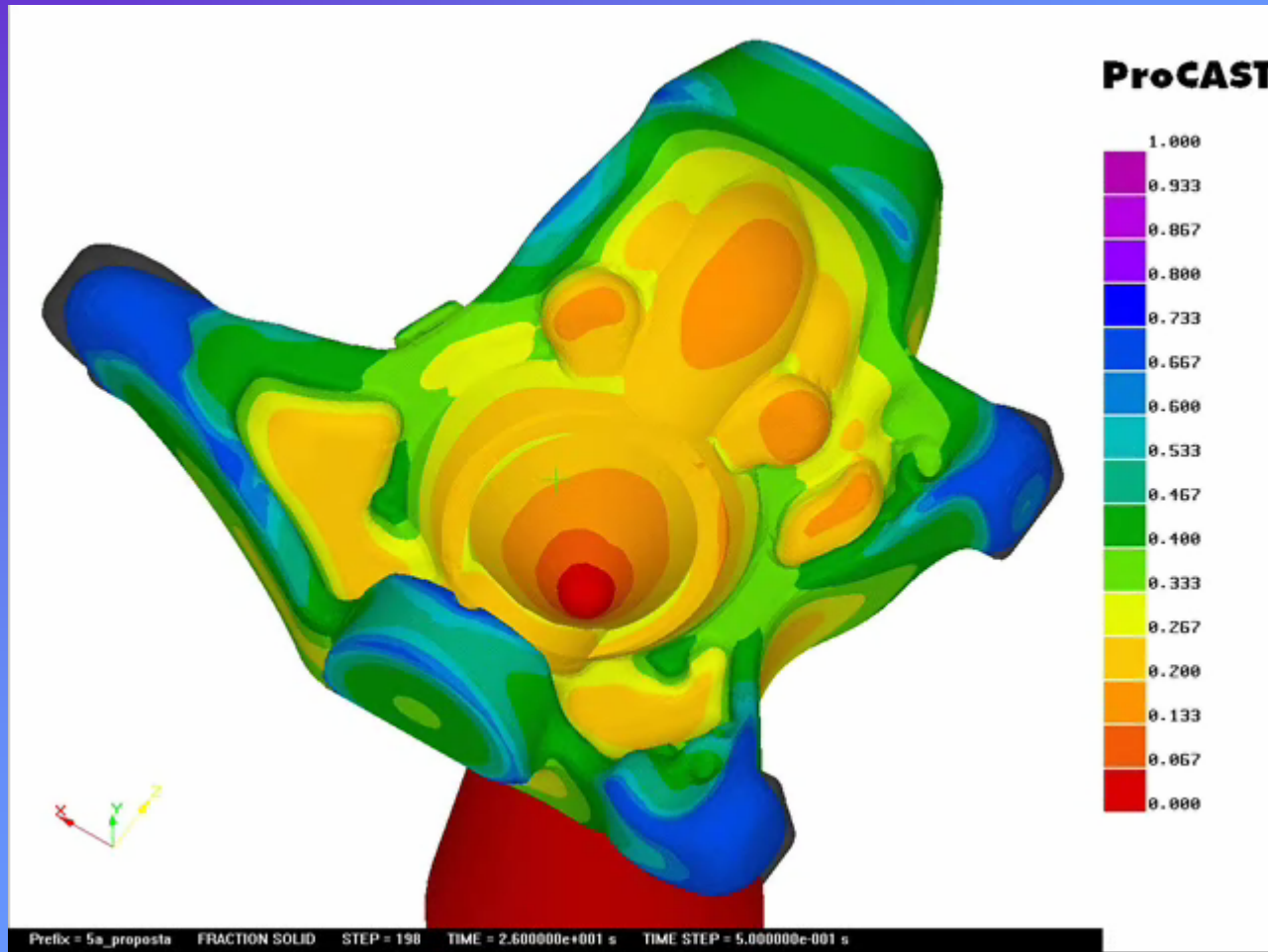


# Riempimento e velocità



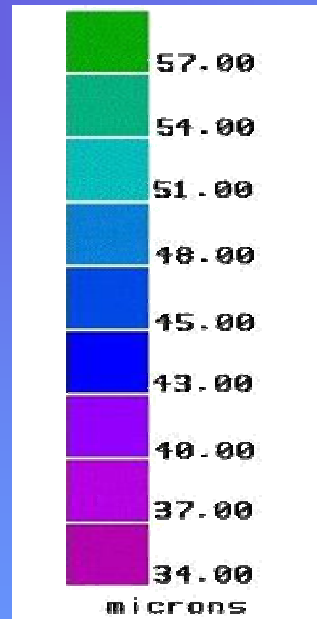
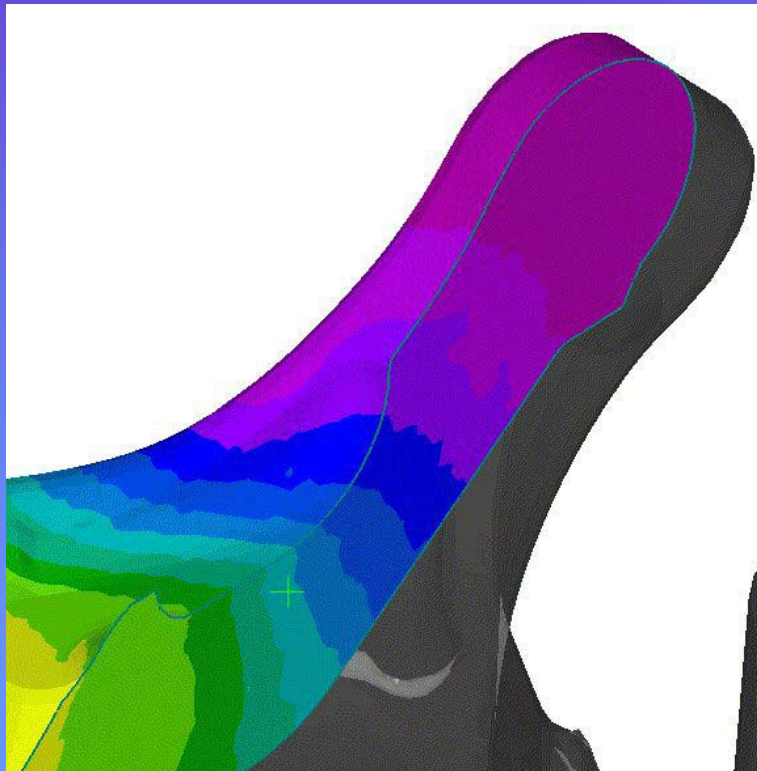


# *Solidificazione e frazione solida*





*Confronto valori di S.D.A.S prima campionatura  
micrografie-previsioni simulatore*

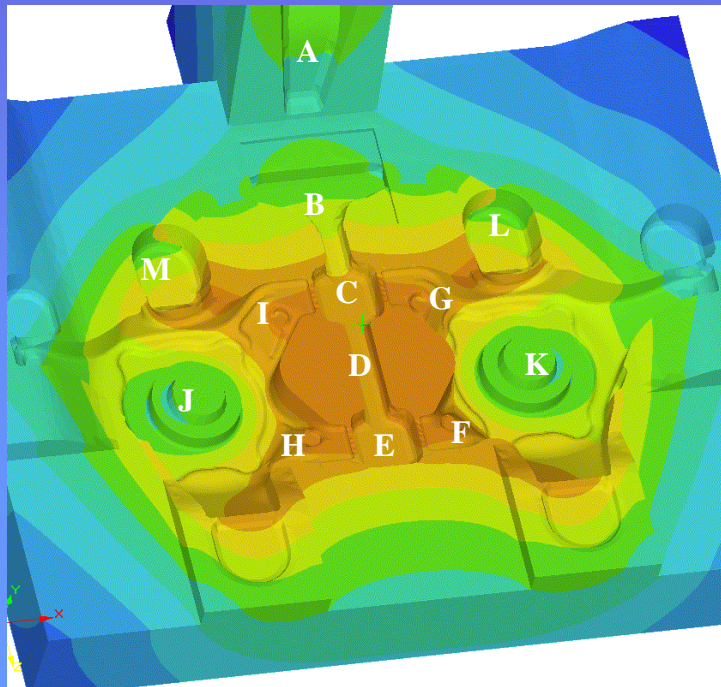
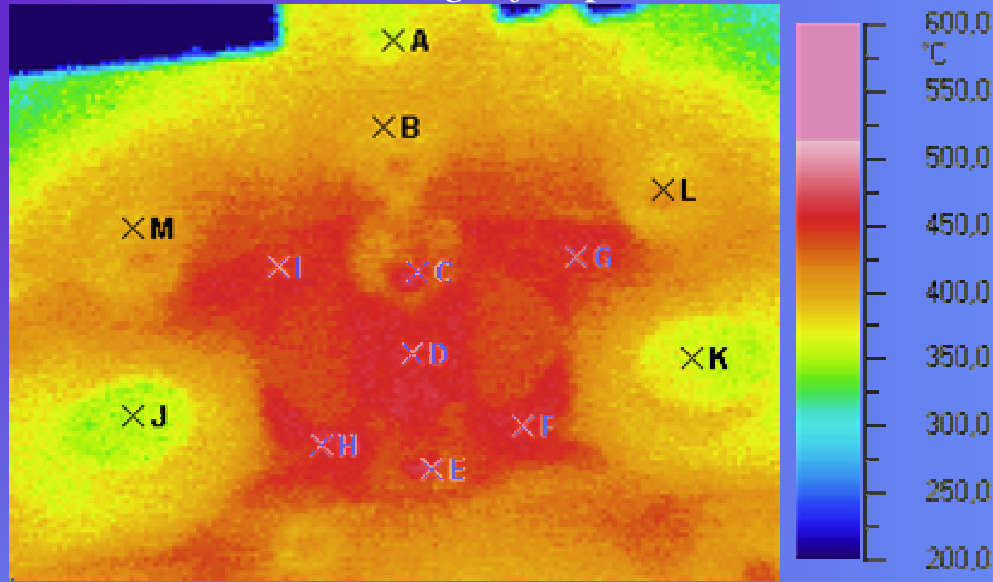


ZONA	S.D.A.S. reale (mm)	S.D.A.S. Simulato (mm)
1	0.035	0,037
2	0.043	0,040
3	0.038	0,040
4	0.051	0,050





# Confronto valori temperature stampo prima campionatura termografie-previsioni simulatore



SIMUL.		REALE	
Punto	T [°C]	Punto	T [°C]
A	360	A	356
B	386	B	397
C	451	C	458
D	450	D	451
E	451	E	471
F	450	F	448
G	450	G	456
H	452	H	449
I	449	I	446
J	351	J	354
K	362	K	367
L	401	L	407
M	400	M	394



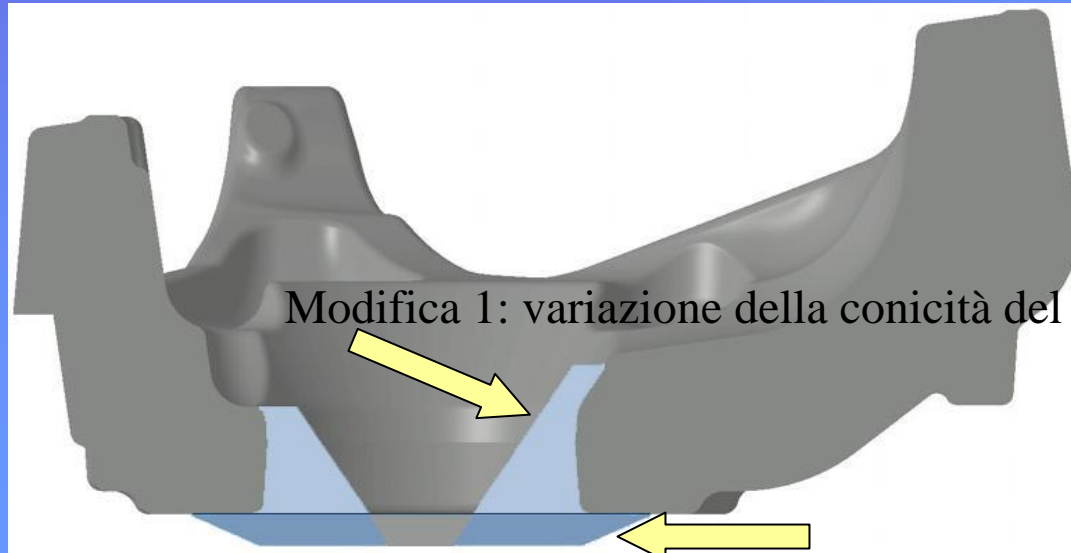
## *La Bassa Pressione*

La tecnologia di bassa pressione ha dei **vincoli progettuali diversi** da quelli della fusione per gravità:

le sezioni del getto devono essere massime nel punto di iniezione del metallo fuso e ridursi progressivamente, in direzione radiale, verso la periferia del pezzo.

Questo garantisce la continua presenza di una vena fluida, attraverso la quale si senta l'intervento della pressione che svolge la funzione dei montanti utilizzati nella colata per gravità.

### *Modifiche generali di adattamento del pezzo*



Modifica 1: variazione della conicità del foro

Modifica 2: realizzazione di un piano d'appoggio



## Studio delle sezioni

Dopo aver introdotto le modifiche precedentemente descritte per ottenere un aumento delle sezioni, è stato condotto uno **studio sulle sezioni del portamozzo**, impiegando il metodo dei cerchi di Heuvers.



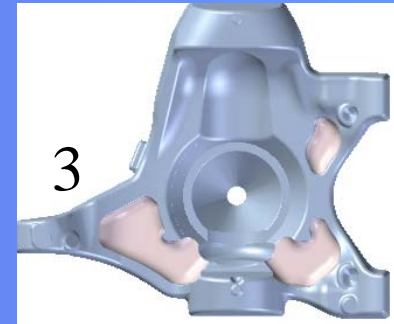
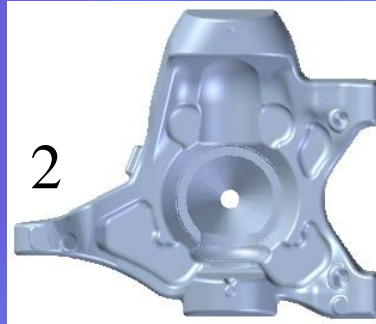
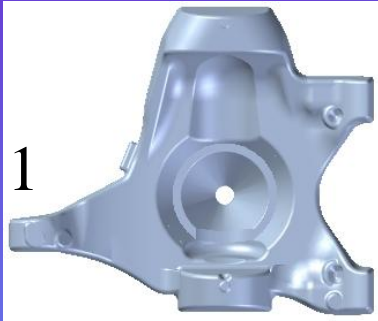
**I cerchi di colore azzurro non rispettano i vincoli progettuali.**

Perciò è stato necessario introdurre **ulteriori modifiche** che hanno prodotto diverse versioni del portamozzo da testare con il simulatore di colata.

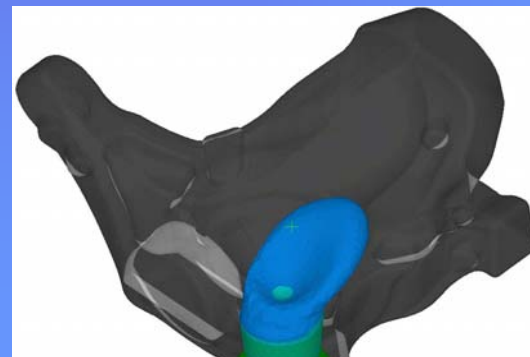
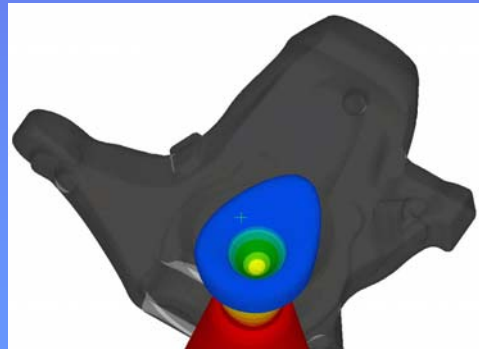


## *Prime tre versioni*

Versioni con **modifiche alla geometria originale** del portamozzo fuso in gravità.



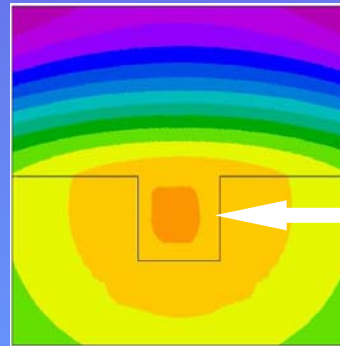
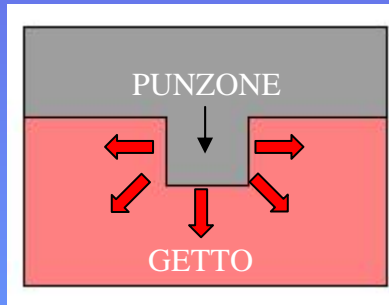
## Risultati simulazione





Si ha un progressivo allungamento nella morfologia del fronte di solidificazione.

Il fenomeno si verifica in quanto le cave nel portamozzo corrispondono a zone in rilievo nello stampo (punzoni), cioè **piccole masse molto esposte che assorbono calore dall'alluminio fuso che le avvolge**, rilasciandolo lentamente durante la fase di solidificazione del getto.



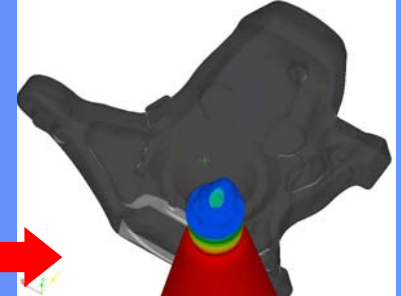
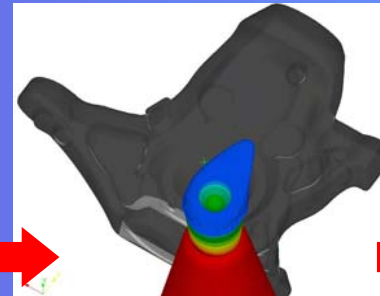
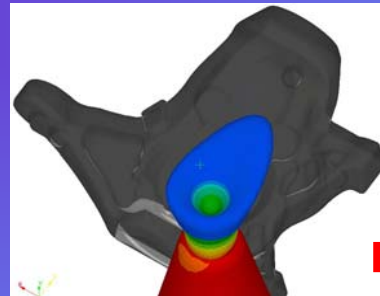
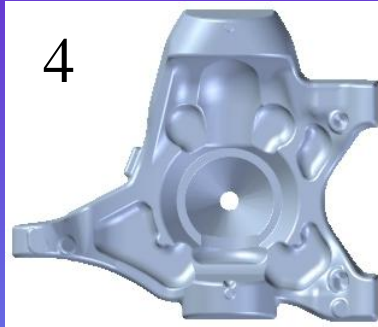
TEMPERATURA  
PIU' ELEVATA





## Quarta versione

Versione con geometria originale del portamozzo fuso in gravità.



non vi è l'insorgenza di cavità di ritiro, anche se il fronte di solidificazione si è lievemente allungato.

Il risultato positivo di questa versione implica la possibilità di poter fondere la stessa geometria del portamozzo sia in gravità che in bassa pressione.



## *Interpretazione dei risultati della simulazione*

C'è una leggera discrepanza tra i risultati dello studio teorico delle sezioni e gli esiti della simulazione.

### *Motivazioni:*

- **la solidificazione non avviene in modo naturale**, ma sotto l'influenza di un raffreddamento che la direziona dalla periferia del getto al cuore dell'iniezione.



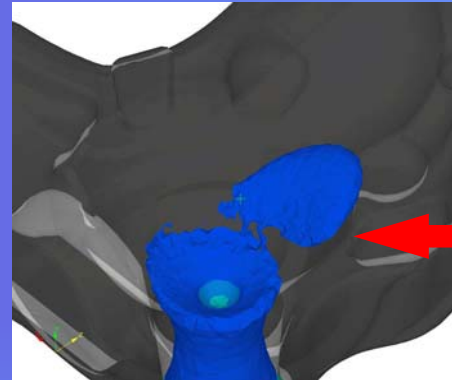
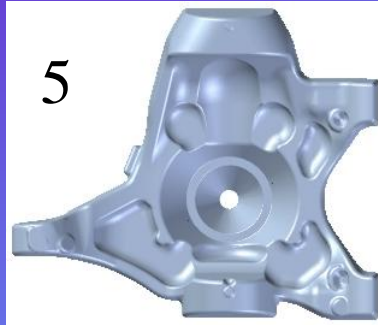


## Quinta versione

Abbassamento dell'altezza del pianetto centrale



Riduzione troppo drastica delle sezioni di alimentazione



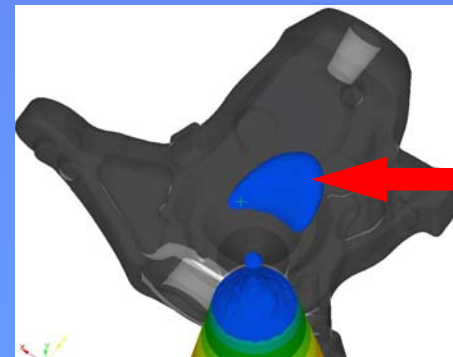
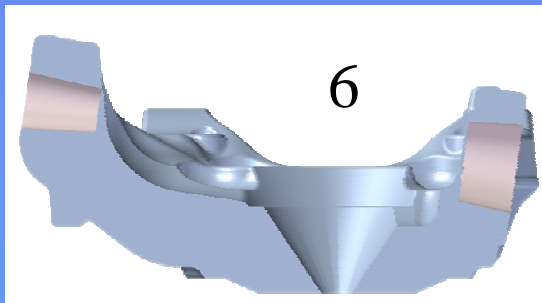
DIFETTO

## Sesta versione

Presenza di due prefori ottenuti con due spine



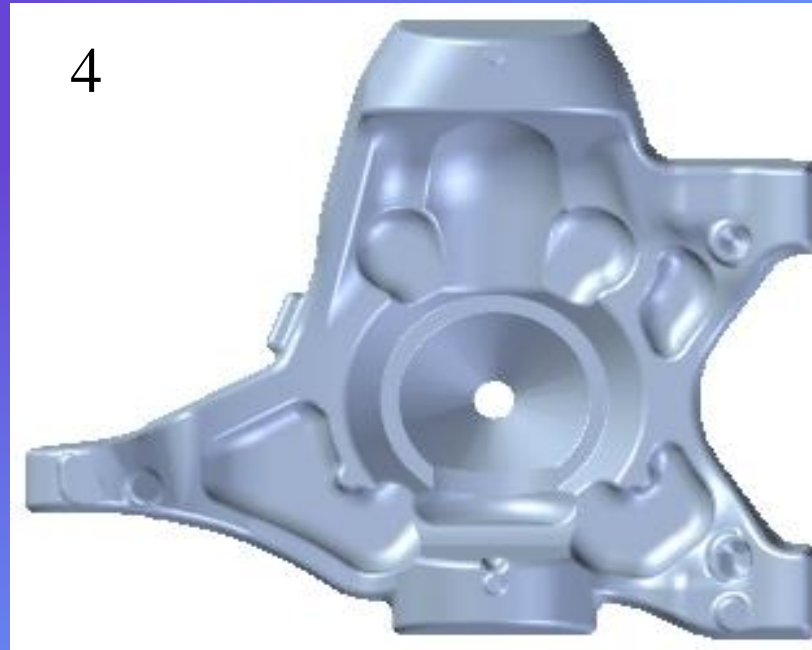
Le due spine si comportano come punzoni surriscaldati



DIFETTO



## *Scelta della versione migliore*



Considerando tutti i risultati ottenuti, **la quarta versione del portamozzo è stata valutata la migliore.** Pertanto, tutti i parametri che la riguardano sono quelli che verranno impiegati sia per il confronto metallurgico, che per quello economico.

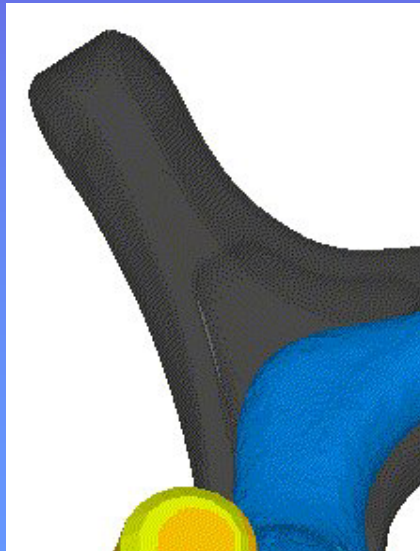


## Confronto metallurgico

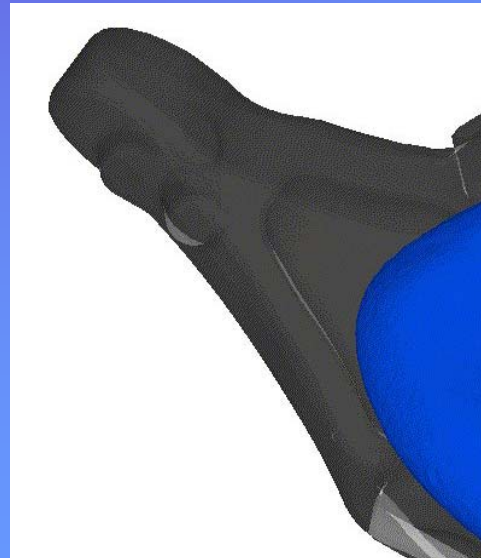
Confrontando l'andamento della solidificazione nel braccio dello sterzo del portamozzo, si ottiene un livello paragonabile di solidificazione a 80 secondi dall'inizio della fusione per la gravità e a 75 secondi per la bassa pressione.



Il tempo di solidificazione della bassa pressione è lievemente inferiore a quello della colata per gravità.



GRAVITA' 80 secondi




BASSA P. 75 secondi




Dato che l'andamento dello S.D.A.S. è funzione del tempo di solidificazione

$$\lambda_2 = f(t, t_L)$$

e che il tempo di solidificazione è maggiore per la gravità, si è verificato che la dimensione dello S.D.A.S. è maggiore per il portamozzo fuso in gravità che non per quello fuso in bassa pressione.



ZONA	S.D.A.S. Bassa Pressione [mm]	S.D.A.S. Gravità [mm]
1	0,033	0,032
2	0,036	0,042
3	0,035	0,035
4	0,040	0,049

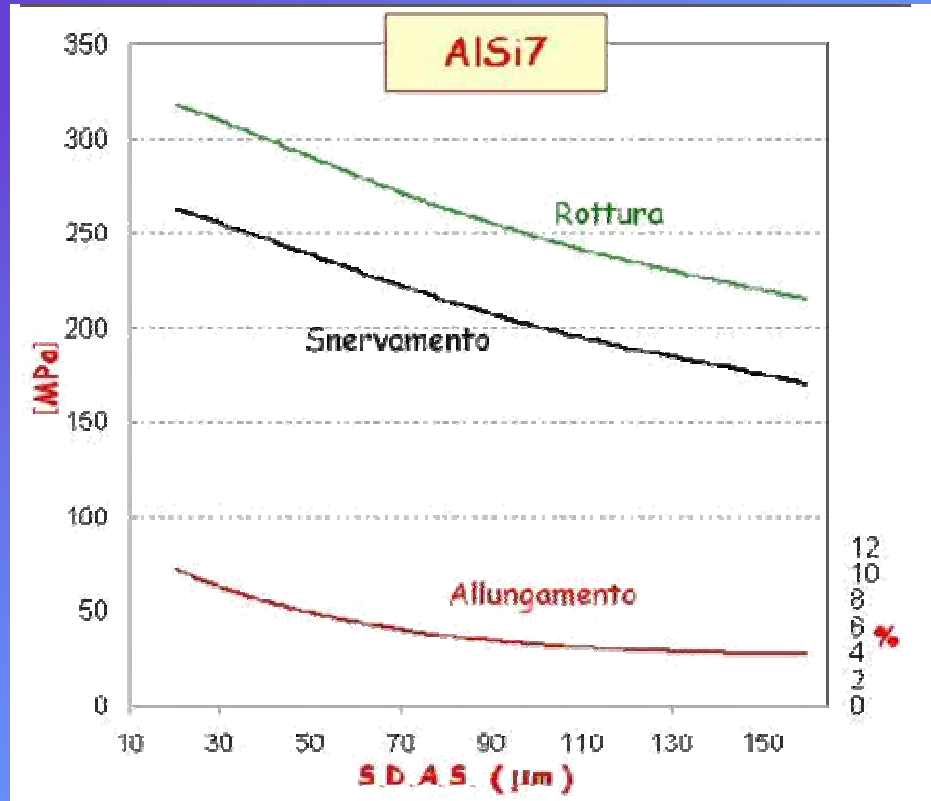


Dati previsti dalla simulazione della quarta versione

Dati ricavati dalle micrografie sul portamozzo fuso nella seconda campionatura



Inoltre, visto che la dimensione dello S.D.A.S. influenza le caratteristiche meccaniche del pezzo finale,



questo può significare che le caratteristiche meccaniche del portamozzo fuso in bassa pressione siano lievemente superiori a quelle del portamozzo fuso in gravità.

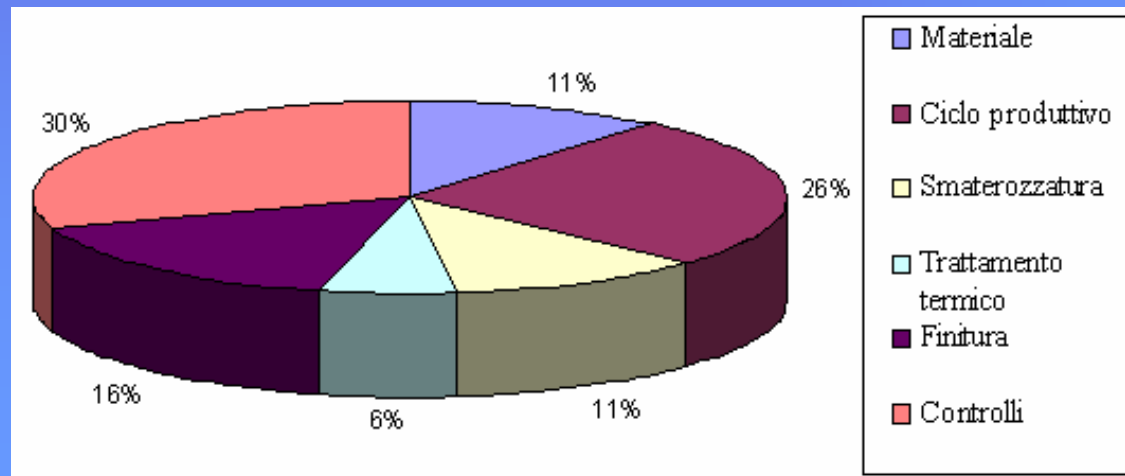


## Confronto economico

Le voci che partecipano alla costruzione del costo di produzione di un pezzo sono:

- quantità di lega portata allo stato liquido;
- tempo ciclo = tempo di produzione + tempo operatore;
- smaterozzatura e nastratura;
- trattamento termico;
- finitura;
- controlli e prove;

con un' incidenza pari a quella riportata nel grafico.





G BP

	G	BP
Quantità di Al	1	0,6
Ciclo produttivo	1	1,2
Smaterozzatura	1	0
Trattamento termico	1	1
Sbavatura/nastratura	1	0,9
Controlli	1	1



COSTI  
INDICIZZATI

Componendo le voci di costo si ottiene che:

GRAVITA'

100



BASSA PRESSIONE

90





## Conclusioni

	VALUTAZIONE PER LA GRAVITA'	VALUTAZIONE PER LA BASSA PRESSIONE
Qualità metallurgica	Buona	Buona
Finitura superficiale	Buona	Ottima
Caratteristiche meccaniche	Buone	Buone
Resa volumetrica	Sufficiente	Ottima
Produttività	Buona	Ottima
Costi di produzione	Alti	Alti
Costi di attrezzatura (stampo)	Alti	Molto alti

In conclusione: anche se sono state evidenziate lievi differenze tra le due tecnologie, sia in campo metallurgico che economico, **si possono considerare comunque due tecniche fusorie confrontabili.**



*Grazie per l'attenzione*