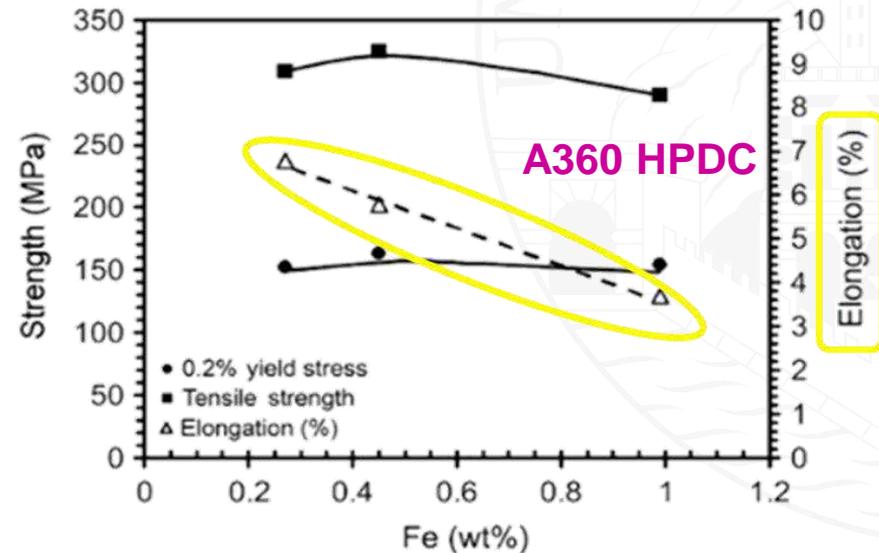
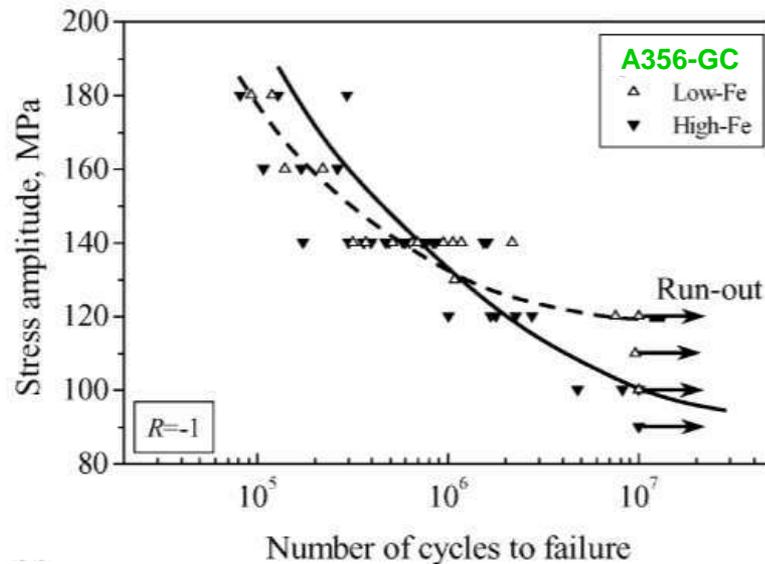


Ma, solitamente, in pressocolata (HPDC) il Fe è desiderato (% 0.4-1.3%) per la ridurre il fenomeno delle metallizzazioni (= aumento vita stampi) => ok **Al secondario**.

Fattibile?

In generale no, riduce le prestazioni del getto (fatica e duttilità).



\* J.Z. Yi et al.  
DOI: 10.1016/j.msea.2004.07.044

\* S.P. Midson et al.  
NADCA 2014

Si vede anche dall'analisi del Quality Index:

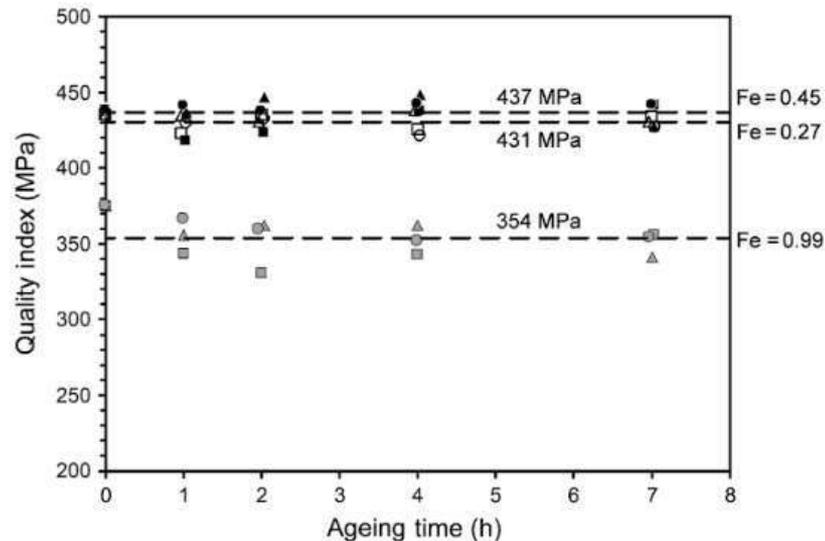
$$QI = UTS + 150 \log(e) \quad \text{Drouzy, Jacob e Richard}$$

$$QI = YS + 210 \times \log(e) + 13$$

Cáceres, Apelian, Wang e Makholouf

**N.B.**

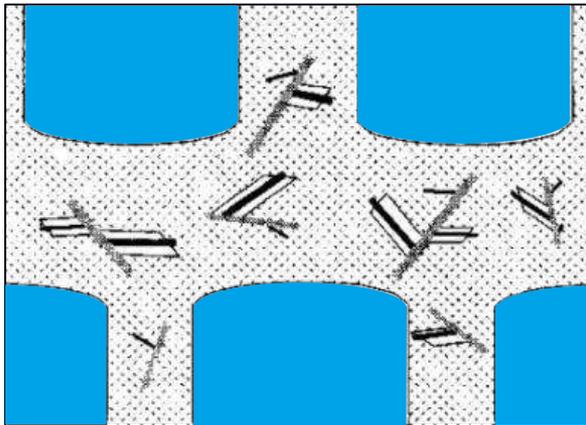
(e) = elongation = A%



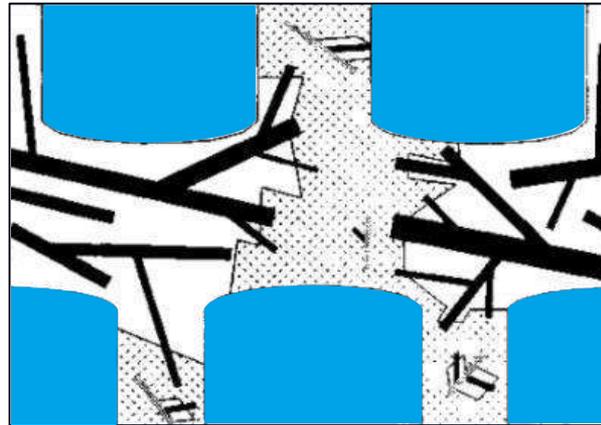
\* R. Lumley, 2018

+ ha un effetto negativo anche sulle porosità da gas e, soprattutto, sulle microporosità da ritiro (forte riduzione della “permeabilità” interdendritica)

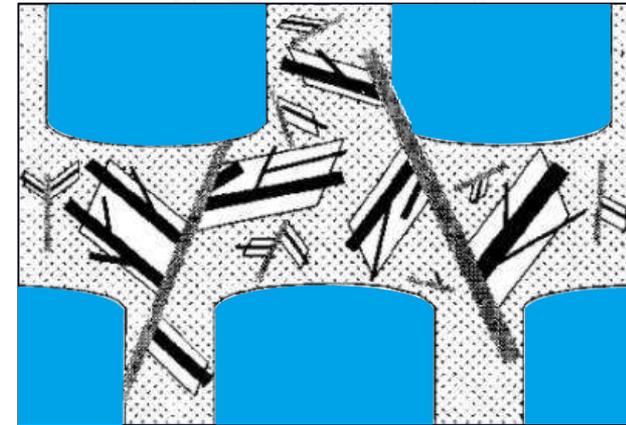
$Fe < Fe_{CR}$



$Fe = Fe_{CR}$



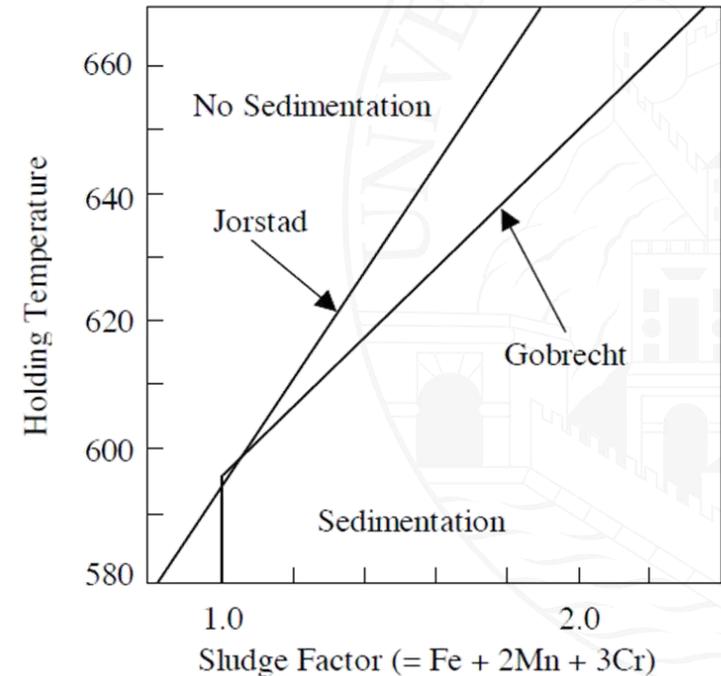
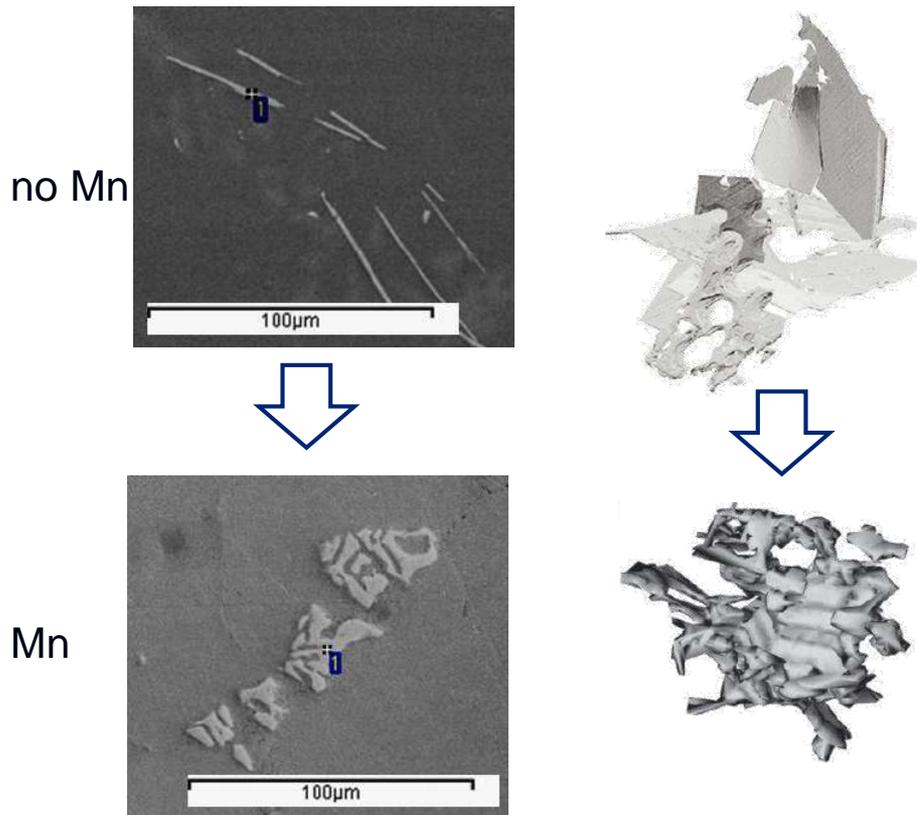
$Fe > Fe_{CR}$



- Dendriti
- Liquido
- Silicio
- Intermetallici  $\beta$

\* J.A. Taylor et al.  
DOI: 10.1007/s11661-999-0103-z

Per contenere il fenomeno => aggiunta di **Mn** (o Cr) modifica la morfologia degli intermetallici MA attenzione allo *sludge factor*.

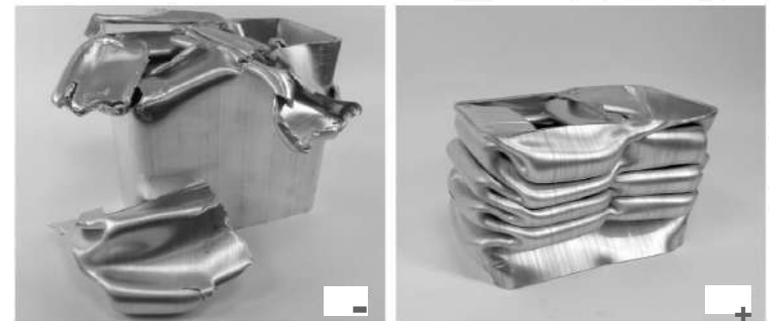


\* G. Timelli et al.  
DOI: 10.1016/j.msea.2014.02.071

Leghe normalmente usate in HPDC, contengono Si (9-12%) e Fe (0.4% fino 1.3%) => basso A% => bassa **ductilità** = capacità del materiale di deformarsi plasticamente sotto carico prima di giungere a rottura

EN-AC	Composiz.	UTS [MPa]	R <sub>p02</sub> [MPa]	A%	Fe
43400	AlSi10Mg	240	140	1	<0.9
44300	AlSi12(Fe)	240	130	1	<0.9
44400	AlSi9	220	120	2	<0.66
46000	AlSi9Cu3	240	140	1	<1.1
46100	AlSi11Cu2	240	140	1	<1
46200	AlSi8Cu3	240	140	1	<0.7
46500	AlSi9Cu3(Zn)	240	140	1	<1.2
47100	AlSi12Cu1	240	140	1	<1.1

**N.B.** La deformazione plastica è il meccanismo utilizzato per dissipare l'energia cinetica del veicolo in caso di incidente (resistenza a impatto).



## HPDC è adatta per “getti strutturali”?

Automotive: fino a poco tempo fa ~90% HPDC utilizzato principalmente per la produzione di *3 tipologie di prodotti*: parti motore, scambiatori di calore, parti trasmissione.

Per ridurre il peso del veicolo => HPDC tecnologia promettente anche per gli strutturali (parti telaio, “shock tower”, paratie antifiamma, ecc..)

Se si vogliono produrre pezzi strutturali mediante HPDC è necessario garantire alte caratteristiche meccaniche e alto A%.

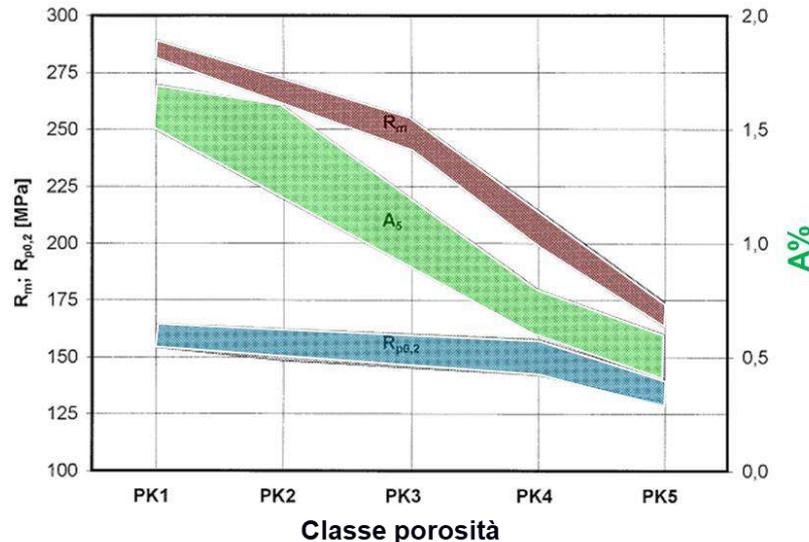
Come?



- 1) produzione pezzi “esenti” da porosità da gas/difetti;
- 2) ottimizzazione dei trattamenti termici (T5, T6);
- 3) scelta le leghe appropriate (composizione chimica).

1] Sotto l'azione di un carico, in corrispondenza dei pori si ha concentrazione delle sollecitazioni = deformazione plastica localizzata e sviluppo di microcricche => rottura + riduzione sezione resistente.

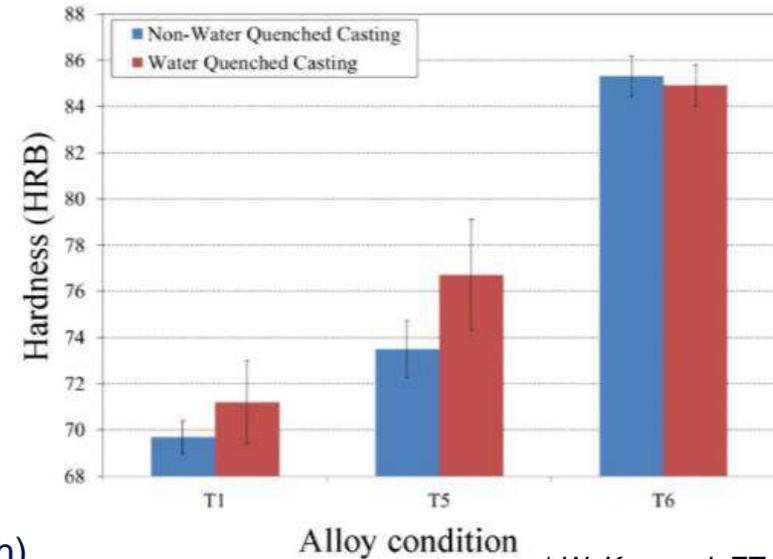
Es. AlSi9Cu3:



\* [www.giessereilexikon.com](http://www.giessereilexikon.com)

Possibili interventi: simulazione, adeguata progettazione del sistema di colata e delle tirate d'aria, termoregolazione dello stampo, lubrifica, controllo processo e vuoto.

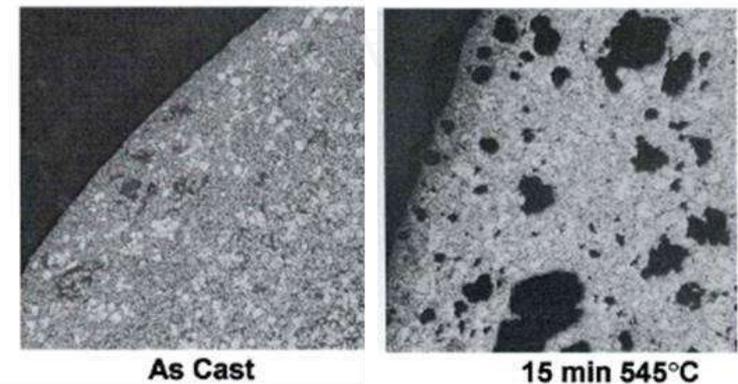
**2]** La corretta combinazione T°/tempi trattamento (o T° estrazione dallo stampo) determinano il raggiungimento di diverse prestazioni.



T1, T5 (200 °C/2 h)  
T6 (510 °C/0.5 h AA at 200 °C/2 h)

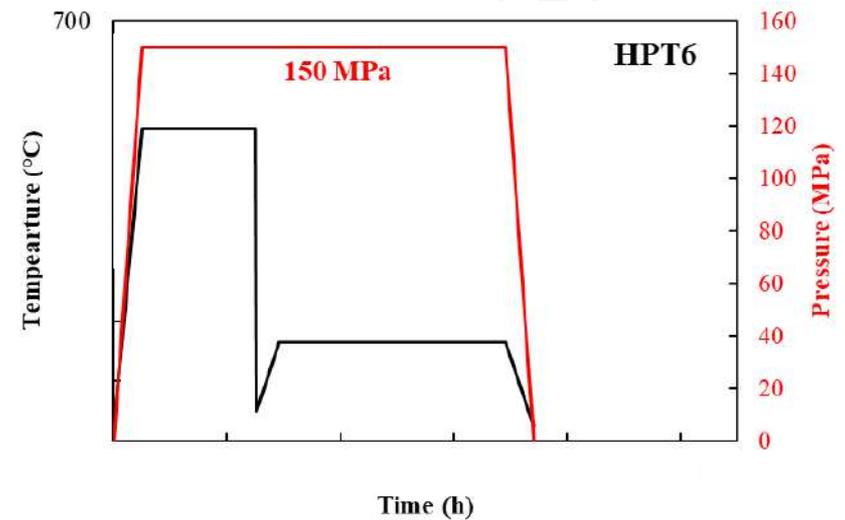
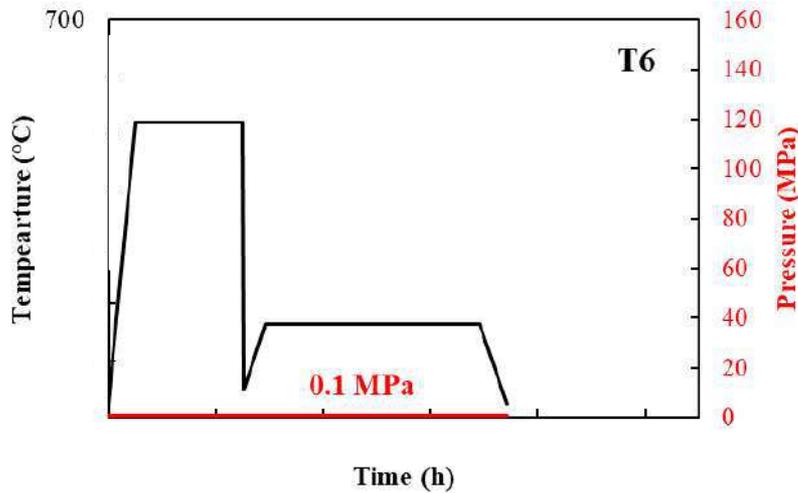
\* W. Kasprzak ET AL.  
DOI: 10.1016/j.matde  
s.2016.03.093

Durante il mantenimento ad alta T° si ha modifica della morfologia del Si e degli intermetallici, MA attenzione a dilatazione pori!



\* R.N. Lumley et al.  
DOI: 10.1007/s11661-007-9285-4

Recentemente si stanno sviluppando **trattamenti termici sotto pressione** (intero ciclo T6):



UNIVERSITY OF BRESCIA



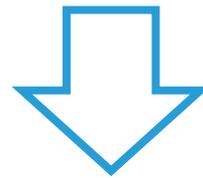
**3]** Circa la scelta della lega adeguata, è necessario ricordare che una lega per applicazioni strutturali deve avere:

- spessori sottili
  - bassa densità = leggerezza
  - alte caratteristiche meccaniche
  - resistenza a impatto (duttilità)
  - resistenza a corrosione
  - saldabilità (=> no porosità da gas)
  - attitudine al trattamento termico
  - resistenza a tenuta
  - ecc..
- **N.B.** Se si vuole effettuare un *trattamento termico* => presenza di elementi che formano precipitati indurenti (Cu, Si+Mg, ecc.) se si vogliono garantire alte prestazioni sarebbe meglio ridurre il contenuto di Fe.

Innanzitutto è fondamentale garantire un'adeguata gestione della lega => necessario/utile:



- controllare la qualità della lega liquida (ossidi, sludge, scoria, inclusioni, idrogeno);
- utilizzare una  $T^\circ$  appropriata (non troppo alta);
- prestare attenzione alle operazioni di travaso;
- garantire un certo degasaggio nel forno di mantenimento, ecc..



Scegliere la lega più promettente in termini di composizione chimica e minimo livello di impurezze =>  $\downarrow$  Fe = “leghe primarie”

**Ma come risolvere il problema delle metallizzazioni in HPDC?**

- Rheinfelden ha sviluppato la prima lega a basso Fe per pressocolati strutturali (Silafont<sup>®</sup> 36 poi altre)
- Alcoa ha sviluppato leghe simili (C601 e C611) per uso interno poi le EZCast<sup>®</sup>
- Alcan ha proposto le leghe Aural<sup>®</sup>
- Pechiney le leghe Calypso<sup>®</sup>
- Mercury Marine le leghe Mercalloy<sup>®</sup>

Sono tutte leghe con Fe < 0.2-0.25% (raffreddamento rapido garantisce intermetallici fini) Vs tenori fino all'1% nelle leghe convenzionali.

Possibile classificarle in 2 famiglie:

Leghe della **famiglia Al-Si** => Si (6-12%) + Mg (<0.6%), Mn e Fe

- Silafont<sup>®</sup>-36
- Aural<sup>®</sup> 2, 3 e 5
- Mercalloy<sup>®</sup>-367, 368
- Castasil<sup>®</sup>-37
- Ezcast<sup>®</sup>-360, ecc..

Caratterizzate da buona fluidità + sono trattabili termicamente (T4, T5, T6 o T7)

Leghe della **famiglia Al-Mg-Si** => Mg (2-5.5%) + Si (1.5-3%), Mn e Fe

- Magsimal<sup>®</sup>-59
- C446
- Aural<sup>®</sup>-11
- Calypso 53 e 54SM, ecc.

Più difficili da colare, proprietà molto dipendenti dallo spessore di parete

Esempio di composizione di alcune leghe per HPDC ad alto vuoto:

Alloy Name	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Other
Aural 2	9.5-11.5	0.16-0.22	0.03	0.4-0.6	0.1-0.4	0.03	0.08	Sr: 0.01-0.018
Aural 3	9.5-11.5	0.16-0.22	0.03	0.4-0.6	0.4-0.6	0.03	0.08	Sr: 0.01-0.018
Aural 5	6.5-9.5	0.16-0.22	0.03	0.4-0.6	0.1-0.6	0.03	0.08	Sr: 0.01-0.018
Castasil 37	8.5-10.5	0.15	0.05	0.35-0.6	0.06	0.07	0.1	Mo 0.3, Zr 0.3, Sr
Mercalloy 367	8.5-9.5	0.25	0.25	0.25-0.35	0.30-0.50	0.10	0.20	Sr: 0.05-0.07
Mercalloy 368	8.5-9.5	0.25	0.25	0.25-0.35	0.10-0.30	0.0	0.20	Sr: 0.05-0.07
Silafont 36	9.5-11.5	0.15	0.03	0.8	0.1-0.5	0.08	0.04-0.15	Sr
Ezcast™ 370	6.0-9.0	0.2		0.1-0.8	0.15-0.8		0.2	Sr: 0.025
Magsimal 59	1.8-2.6	0.2	0.03	0.5-0.8	5.0-6.0	0.07	0.20	Be

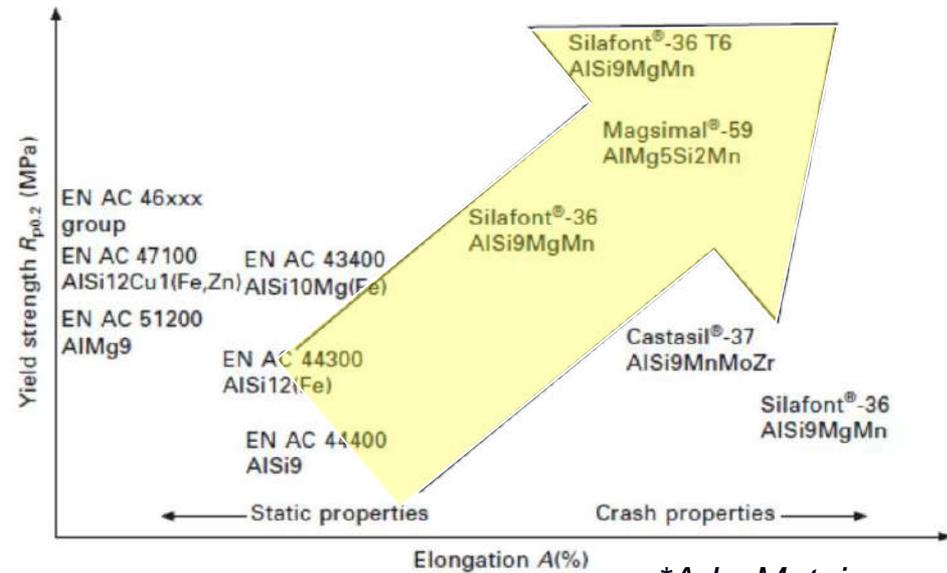


\* D. Twarog et al.  
NADCA 2015

- Silafont-36 => SF=1.75
- Aural-2 => SF=1.2
- Mercalloy 367 & 368 => SF=0.95

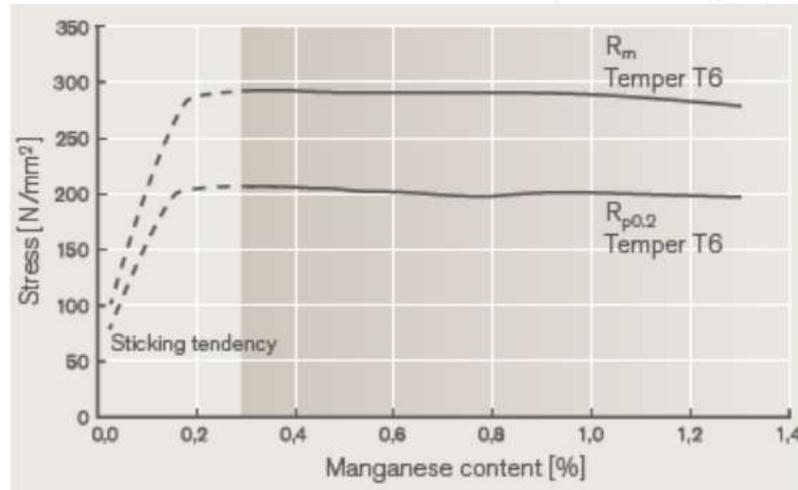
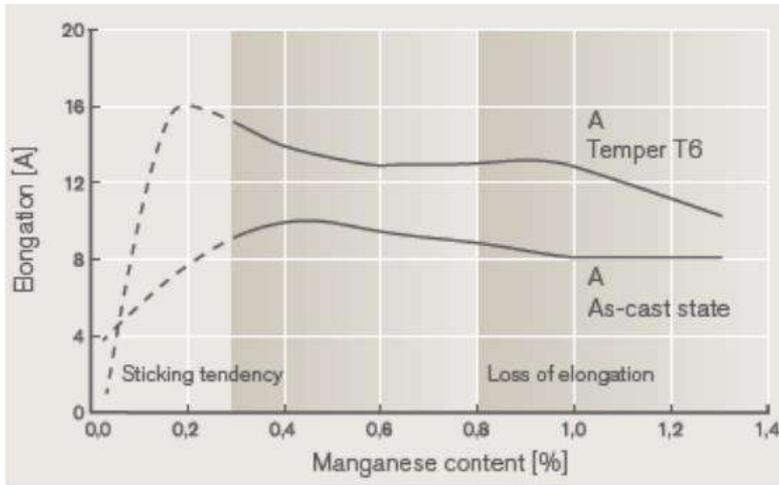
$V_s$  380 => SF=3

Carico di snervamento e A% sono i parametri di interesse per valutare leghe per getti strutturali:



## Esempio dell'effetto del Mn sulla Silafont®36

*\*Adv. Mat. in Automotive Eng.*



*\*Rheinfelden HPDC catalogue*

## Mercalloy 367

Typical Tensile Properties at 0.40% Mg				
Casting Process and Temper	Aging Time and Temperature	Ultimate Strength ksi (MPa)	Yield Strength ksi (MPa)	Elongation (%)
Die Cast 367.0—F	as cast	39.3 (270)	16.6 (115)	8.1
Die Cast 367.0—T5	2 hour at 170C	42.8 (295)	24.5 (170)	5.0
Die Cast 367.0—T5	4 hour at 170C	43.9 (300)	27.8 (190)	6.7
Die Cast 367.0—T5	6 hour at 170C	45 (310)	29 (200)	8.2
Die Cast 367.0—T5	8 hour at 170C	45 (310)	30 (205)	9.0
Die Cast 367.0—T4	3 hr at 490C + water quench	35.6 (245)	21.6 (150)	15

\*Mercury  
Mercialloy™  
catalogue

## Mercalloy 368

Typical Mechanical Properties at 0.20% Mg*					
Casting Process and Temper	Aging Time and Temperature	Tension			Endurance Limit Ksi (Mpa)
		Ultimate Strength ksi (MPa)	Yield Strength ksi (MPa)	Elongation (%)	
Die Cast 368.0—F	as cast	38-40 (260-275)	18-20 (125-140)	10-12	21 (145)
Die Cast 368.0—T6	6 hr at 320 F	41-43 (280-295)	27-29 (185-200)	14-16	20 (140)

Come visto, anche gli strutturali in HPDC, sono raramente usati as-cast => richiedono trattamenti termici => inconvenienti: > costi di produzione + necessità di successiva raddrizzatura (utile la simulazione).

Recentemente sono state sviluppate leghe per uso in condizioni as-cast come le EZCast-NHT™ A152 and A153 (Alcoa):

	Yield Strength (MPa)**	UTS (MPa)**	Elongation (%)
A365 / AlSi10MnMg - T6***	210-250	280-340	7-12
A365 / AlSi10MnMg - T5***	150-220	250-310	4-9
A152 EZCast-NHT™ - F***	120-143	231-270	11-20
A153 EZCast-NHT™ - F***	160-175	250-290	7.5-17

\*Alcoa NHT  
data sheet  
catalogue

Ed anche le leghe di Rheinfelden: Castaduct®-42 and Castaduct®-18. La prima non richiede TT, la seconda risponde bene al T5, T1 (non serve solubilizzazione).

**Chemical composition of Castaduct-42 in the ingot [% of mass]**

[%]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	others
min.		1.5			4.0			
max.	0.2	1.7	0.2	0.15	4.6	0.3	0.2	Be

**Mechanical properties**

Treatment state	Wall thickness [mm]	YTS $R_{p0.2}$ [MPa]	UTS $R_m$ [MPa]	Elongation E [%]	Brinell hardness [HBW]
F	2-4	120-150	240-280	10-22	65-75

\*Rheinfelden  
allous  
structural  
casts  
catalogue

	$R_{p0.2}$ (YTS) [MPa]	$R_m$ (UTS) [MPa]	A (E) [%]
Structural cast	120 - 137	241 - 268	7.5 - 17.6
average	129	250	11.4

Mechanical properties of HPDC trials with Castaduct-42, AlMg4Fe2

Visti i contenuti di Fe (e il processo), si forma  $Al_{13}Fe_4$ ; % > portano alla formazione di intermetallici  $\beta$  che abbassano A%.

La -18 è adatta per getti che richiedono una certa rigidezza.  
L'aggiunta di Zn la rende "autotemperante" (buone proprietà dopo 20g).  
Un T5 può accelerare il raggiungimento delle prestazioni

#### Chemical composition of Castaduct-18 in the ingot [% of mass]

[%]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	others
min.		1.4			4.0	3.3		
max.	0.2	1.7	0.05	0.15	4.5	3.6	0.2	Be; Cr

#### Mechanical properties

Treatment State	Wall thickness [mm]	YTS $R_{p0.2}$ [MPa]	UTS $R_m$ [MPa]	Elongation E [%]	Brinell hardness [HBW]
T1	2-10	150-190	280-320	7-10	85-95

*\*Rheinfelden  
allous  
structural  
casts  
catalogue*

# Alluminio Primario Vs Secondario

Problemi legati al primario:

1. fanghi rossi dal processo Bayer (BRM)
2. emissioni CO<sub>2</sub> nel processo Hall-Heroult
3. scarsità di bauxite in EU (dipendenza estero) + aumento domanda globale
4. recentemente, aumento costi a causa del punto 3

**RICICLO!**



## USING RECYCLED MATERIALS FOR SEMI-SOLID PROCESSING OF AL-SI-MG BASED ALLOYS

Jiehua Li<sup>1, a\*</sup>, Xun Zhang<sup>1, 2, b</sup>, Johannes Winklhofer<sup>3, c</sup>, Stefan Griesebner<sup>3, d</sup>, Bernd Oberdorfer<sup>4, e</sup>, Wanqi Jie<sup>2, f</sup>, and Peter Schumacher<sup>1, 4, g</sup>

<sup>1</sup> Chair of Casting Research, Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, No.127 Youyi Western Road, Xi'an 710072, PR China

<sup>3</sup> SAG Innovation GmbH, Lend, Austria

<sup>4</sup> Austrian Foundry Research Institute, Leoben, Austria

**Keywords:** Al-Si-Mg alloy; recycled materials; semi-solid process; electron microscopy

Sono di recentissima presentazione sul mercato le leghe SILVAL (Raffmetal), definite primarie per l'elevata purezza (basso Fe).

Alcuni esempi:

Denominazione della lega		Composizione chimica (%)																	
Denominazione numerica	Simboli chimici	Si		Fe		Cu		Mn		Mg		Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Other	% Riciclo
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max								
42300	AlSi7 (Mg)	6,5	7,5	-	0,15	-	0,03	-	0,10	0,10	0,30	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,18	0,03	80
42400	AlSi7MnMg	6,5	7,5	-	0,20	-	0,03	0,35	0,75	0,15	0,45	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,15	0,05	90
43300	AlSi9Mg	9,0	10,0	-	0,15	-	0,03	-	0,10	0,30	0,45	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,15	0,03	80
43500	AlSi10MnMg	9,0	11,5	-	0,20	-	0,03	0,40	0,80	0,15	0,60	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,15	0,05	90
45500	AlSi7Cu0,5Mg	6,5	7,5	-	0,25	0,20	0,70	-	0,15	0,20	0,45	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,20	0,03	100

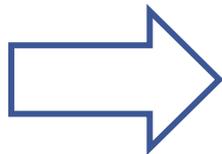
*Esempio per HPDC strutturali:*

**EN AC 43500** grazie ai trattamenti, è possibile superare il minimo delle proprietà richieste solitamente per parti telaio (i.e. 100MPa per  $R_{p0,2}$ , 180MPa per  $R_m$  e 10% di A%).

## Conclusioni

E' possibile realizzare pressocolati strutturali se:

- si utilizzano gli adeguati accorgimenti in fase di produzione (es. alto vuoto, lubrifica “minimale”, simulazione, ecc..)
- la lega liquida è correttamente gestita (pulizia forni, attenzione ai travasi, adeguato degasaggio, anche in forno di mantenimento)
- si sceglie la lega più adatta fra quelle in commercio (sia primarie che secondarie)
- si identificano i parametri di trattamento termico ottimizzati per la lega e il prodotto.



scelta delle leghe (composizione chimica)  
adeguata è solo uno degli aspetti

# Grazie per l'attenzione



**Università degli Studi di Brescia**  
***Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale***

**Via Branze 38, Brescia**



**[annalisa.pola@unibs.it](mailto:annalisa.pola@unibs.it)**