



anche all'es  
Non tutto il  
bilità alla v  
cune zone  
del process  
L'utilizzo d  
sensibili e i  
Attraverso  
possibile d  
per perseg  
temporane  
Questo co  
ti sistemi v  
ro giusto e  
sensori. Vi  
ne tra i seg  
lità della co  
proprio car  
metri di pro  
of Experi

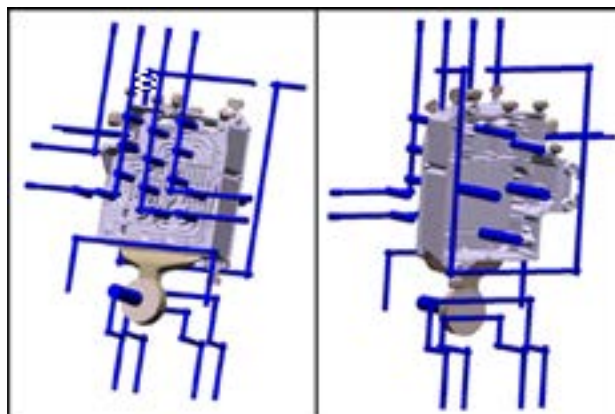


Fig.2 - Circuiti di termoregolazione.

Inoltre per tenere in considerazione il raggiungimento della condizione di regime termico sono stati simulati 10 cicli produttivi.

#### Definizione del DOE

La progettazione degli esperimenti è uno strumento di raccolta e analisi dei dati che consente di manipolare più fattori di input (variabili), determinandone l'effetto su un output desiderato (obiettivi).

Questa pianificazione di esperimenti, permette di analizzare, una volta eseguita, le correlazioni e interazioni che esistono fra le variabili e gli obiettivi comprendendo meglio i fenomeni che governano il processo e la qualità dei componenti prodotti

In questo lavoro le variabili scelte sono state le seguenti variabili:

- La curva di iniezione, in particolare il punto di commutazione e la velocità del pistone della seconda

fase;

- Temperatura iniziale della lega;
- Tempo di spruzzatura;
- Intensificazione della pressione di terza fase

Per la definizione del DOE sono stati utilizzati due algoritmi statistici:

- Fattoriale Ridotto: utilizzato per identificare tutti i design estremi. Tale algoritmo permette di identificare tutti i design creati dalla combinazione dei valori min e max di ogni variabile
- Sobol: algoritmo utilizzato per ottenere design equidistanti tra loro all'interno del confine n-dimensionale identificato con il metodo precedente.
- Applicando questi due algoritmi è stata ottenuta una distribuzione variabile omogenea e simmetrica basata su 5 variabili, per un totale di 312 disegni (vedi Fig. 3).

Fig.3 - Distribuzione variabile.

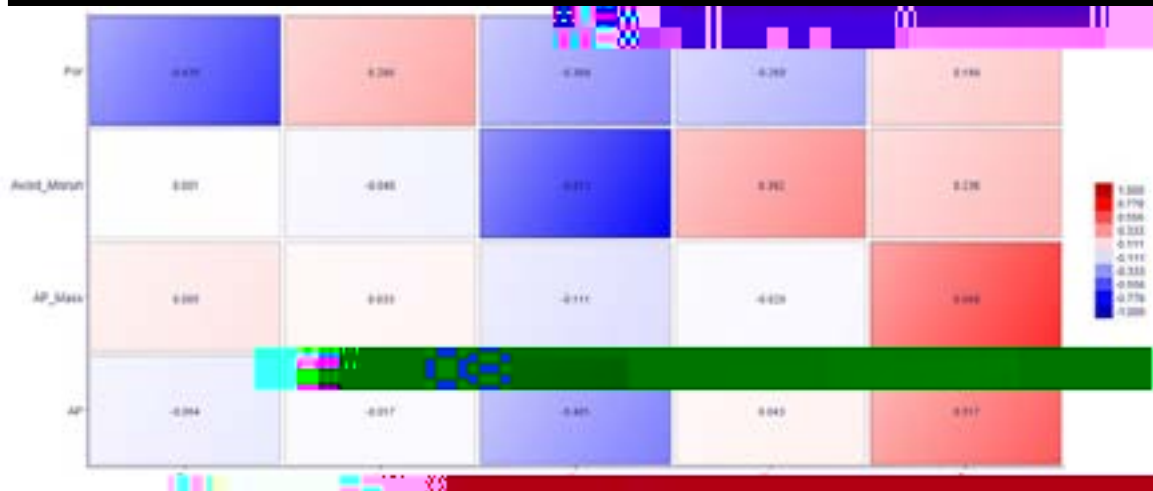
Per ottenere

passi in cor

- Avoid m durante minimi freddi c
- Pressio formaz fase di
- AirMas nel get
- Porosit da ritiro

### RISULTATI

L'analisi de



La prima an

relazioni tr

hanno evid

- Una fo fase (v AirPres
- Una co to di co passa c minima

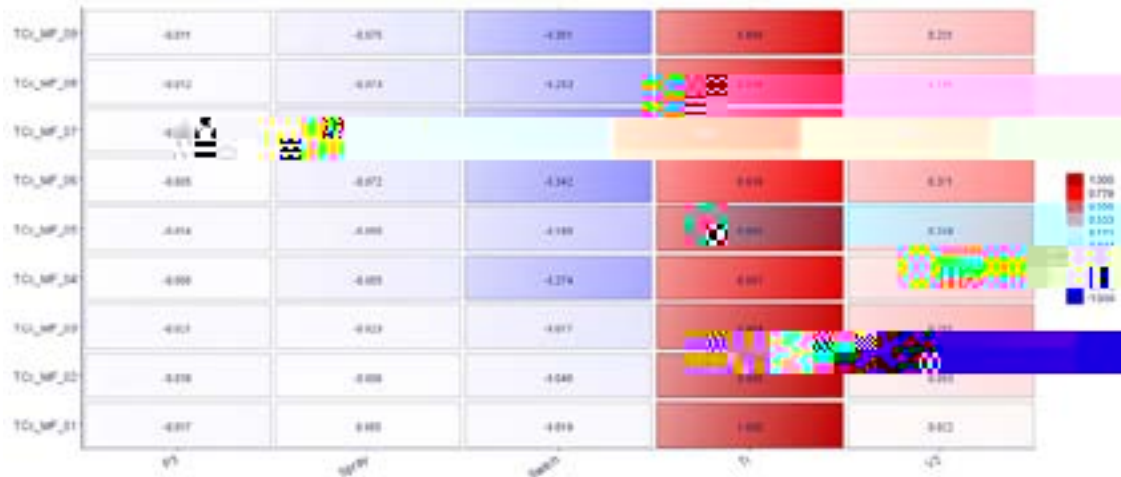


Fig.5 - Correlation Matrix: Variabili vs TC Max.

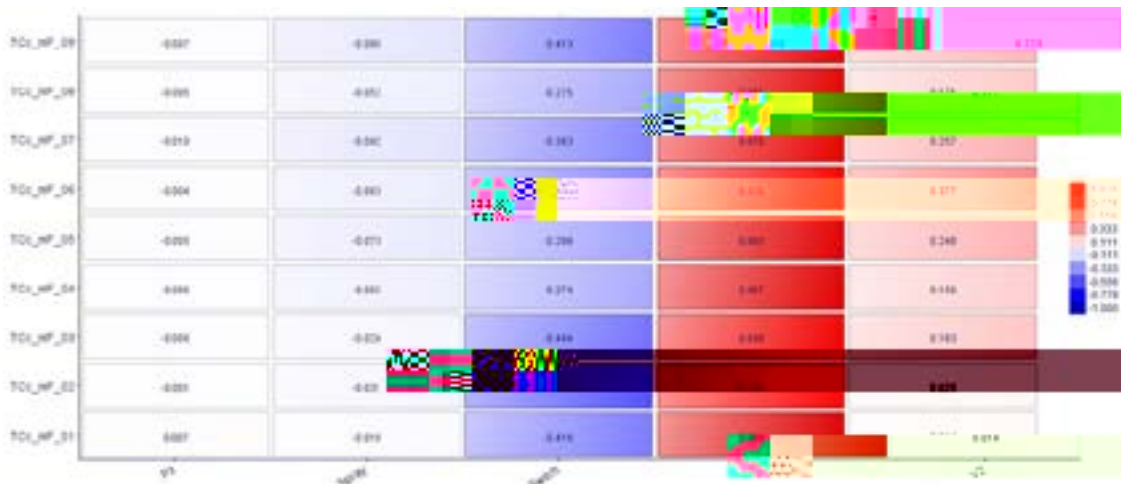


Fig.6 - Correlation Matrix: Variabili vs TC Min.

L'analisi svolta ha evidenziato una fortissima correlazione fra la temperatura iniziale della lega e i valori registrati dalle termocoppie. Tale comportamento è risultato sovrastare e coprire completamente l'effetto di tutte le altre variabili.

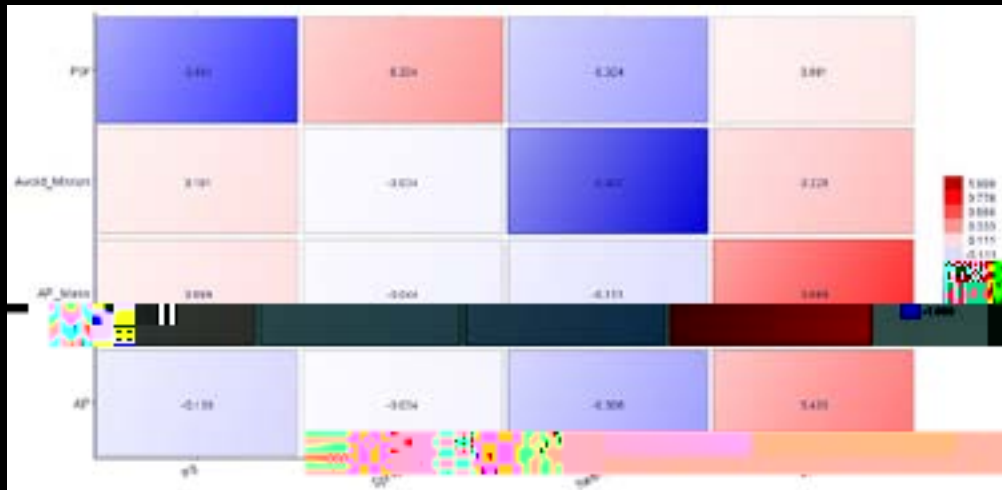
È stato, quindi, necessario isolare la temperatura iniziale raccogliendo tutti i design con la stessa temperatura iniziale della lega in sottofamiglie.

La temperatura iniziale è stata quindi scelta pari a  $T_i=640^{\circ}\text{C}$ , valore utilizzato durante la produzione dalla fonderia.

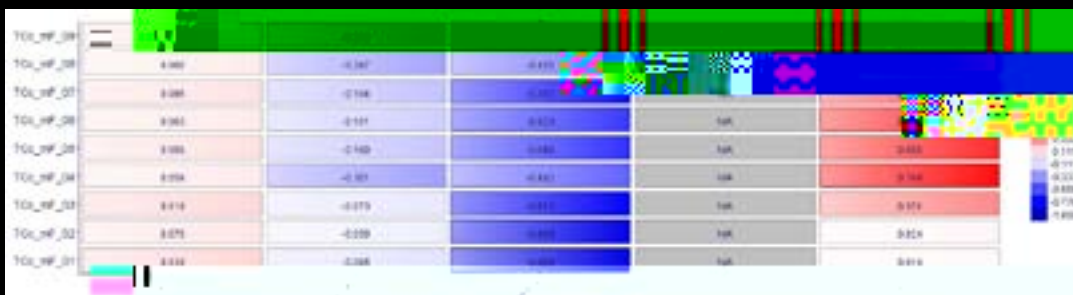
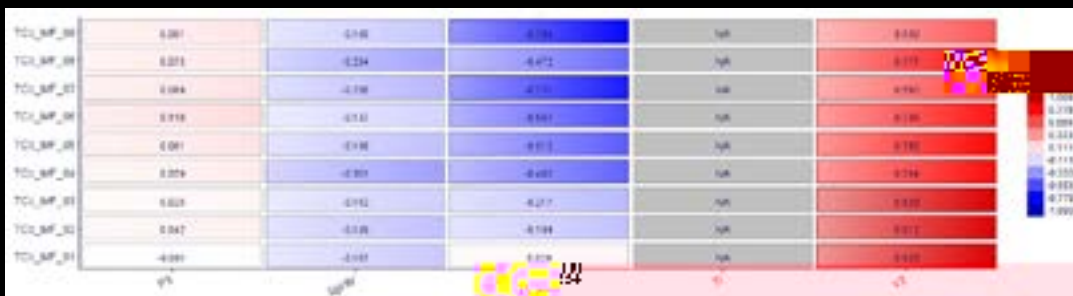
La nuova matrice di correlazione (vedi Fig. 7) mostra chiare correlazioni tra le restanti variabili e gli obiettivi in particolare in termini di:

- Effetto della velocità di seconda fase (V2) sull'aria intrappolata (AP e AP\_Mass)

- Effetto della posizione del punto di commutazione sulla temperatura della lega durante la fase di riempimento (AvoidMisrun)
- Tempo di lubrificazione ed intensificazione della pressione sulla porosità da ritiro.



Buone correlazioni (tch) e term

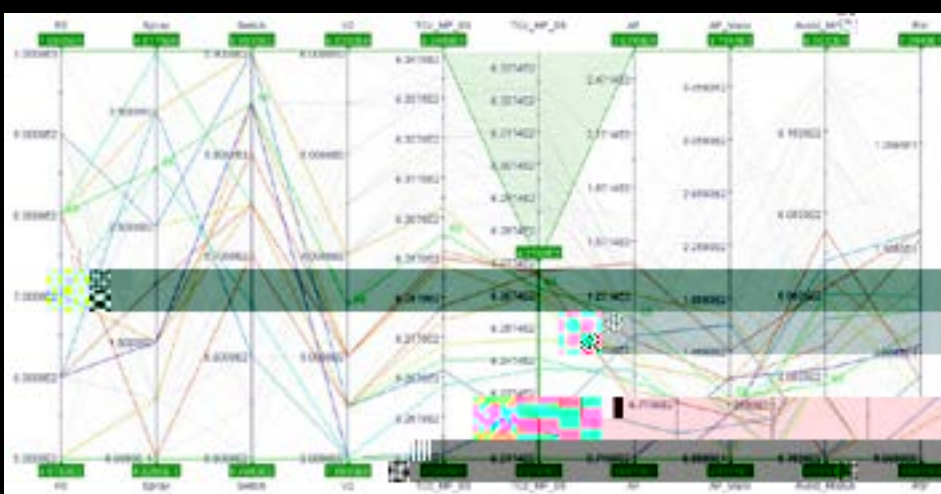
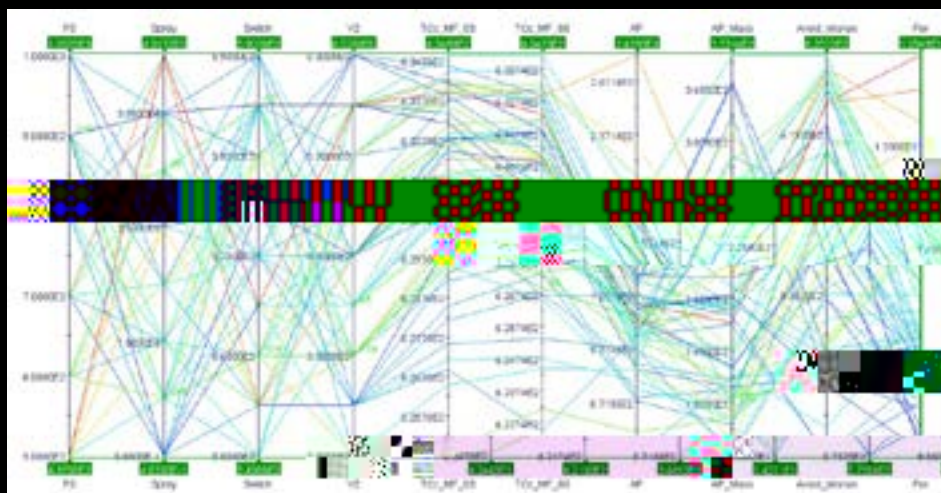


CONCLUS  
Lo scopo o  
zionati risu  
e obiettivi,  
la certezza

Una prima analisi ha messo a confronto le termocoppie 1 e 2 evidenziando un comportamento, nel rilevare le temperature, pressoché identico. Va inoltre considerato che l'estrema vicinanza della termocoppia 1 al pistone, la sottopone a forti pressioni con il rischio di essere danneggiata. Pertanto, poiché TC01 e TC02 sono comparabili, TC01

può essere evitata.

Dall'osservazione delle posizioni delle altre termocoppie (Fig. 10), si può notare che TC03-TC05 e TC04-TC08 sono molto vicine tra loro. Quindi, ci si può aspettare un comportamento molto simile.





Una conclusione simile si può trarre anche per le termocoppie TC04 e TC08; poichè mostrano quasi lo stesso comportamento (Fig. 15 – 18).

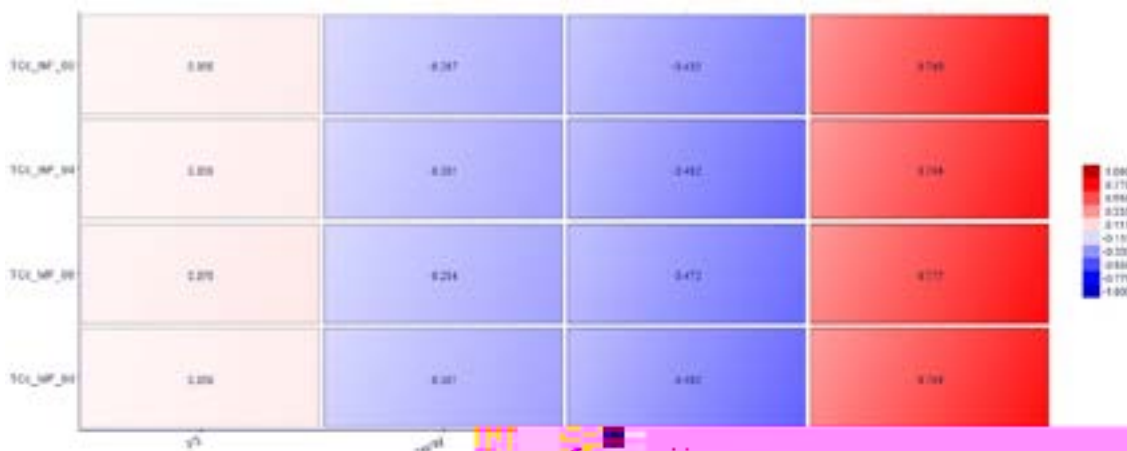


Fig.15 - Correlation Matrix Ti= 640 °C: Variabili vs TC 04-08.



Fig.16 - Correlation Matrix Ti= 640 °C: Obiettivi vs TC 04-08.

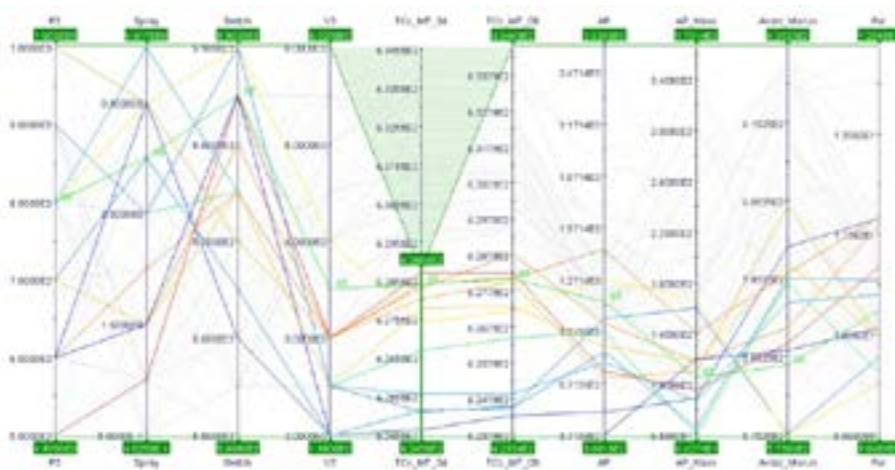
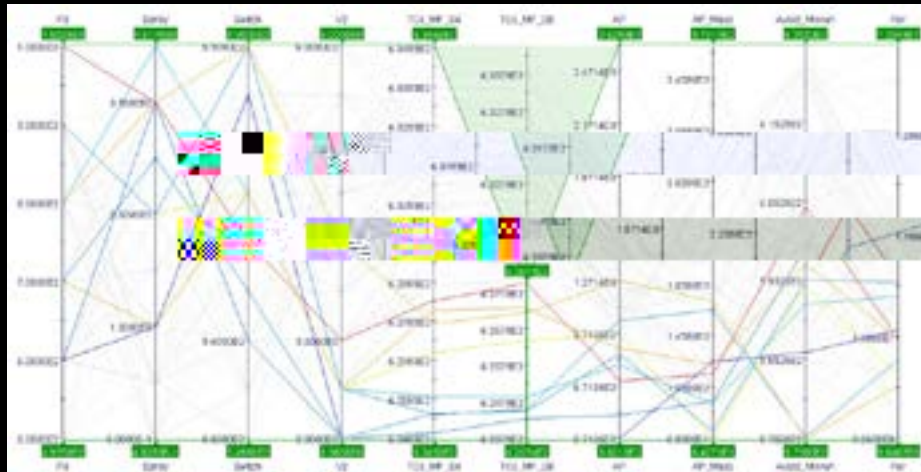
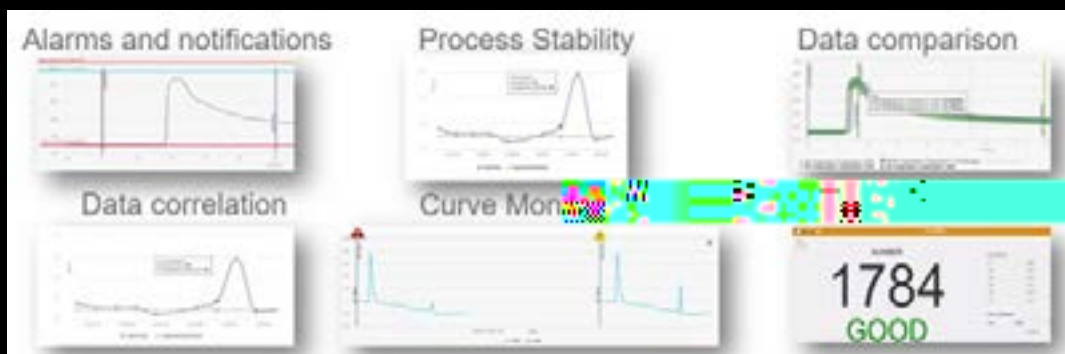
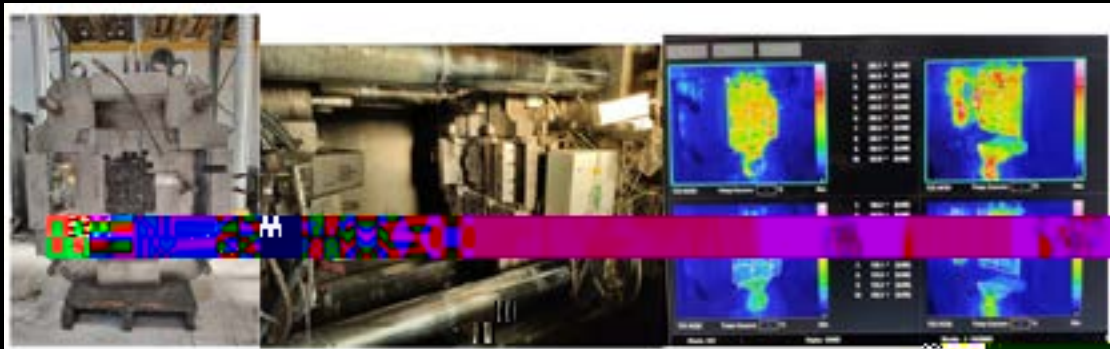


Fig.17 - Parallel Design Ti= 640 °C: Partial cutoff TC 04.



L'analisi co  
mocoppie,  
parametri d  
sultato e la  
mero di te  
tato è che



## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato sviluppato nell'ambito del progetto SMARTI 4.0. Gli autori desiderano ringraziare tutti i part-

ner coinvolti nel suo sviluppo: Meccanica Cainelli, Enginsoft, Tomos, Fisep e New Olef.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. W. G. Walkington, Die Casting Defects – Troubleshooting Guide, NADCA (2003) Arlington Heights, Illinois.
- [2] J. Campbell, The 10 Rules of Good Castings, in: Complete Casting Handbook, second ed. (2015) pp. 535-638.
- [3] E. Battaglia, F. Bonollo, G. Timelli, E. Fiorese and G. Kral, Correlation between process, microstructure and properties in high pressure die casting Aluminum-Silicon alloys, Adv. in Mat. Proc. Tech. (2016) 111-124.
- [4] A. E. Kopper, Knowledge Creation via Data Analytics in a High Pressure Die Casting Operation, PhD Thesis WPI University (2020).
- [5] UNI EN 1706, Aluminium and aluminium alloys – casting – chemical composition and mechanical properties, Brussels: European Committee for Standardization (2010).