

1. Introduzione

1.1 I processi di fusione e colata coinvolgono una serie di fenomeni fisico - chimici che, nel caso dell'utilizzo di leghe, assumono sfumature di elevata complessità. In questo caso, infatti, il gradiente di temperatura può influire anche sulla composizione del solido finale. Come esempio si può prendere il caso della solidificazione di una lega binaria. Il solido che, istante per istante, si forma ha una composizione differente, così come il liquido che si impoverisce via via dell'elemento più altofondente. Questo ragionamento si può estendere non solo alle leghe binarie, ma a qualunque tipo di lega, con la differenza che la complessità in questo caso aumenta notevolmente. È chiaro dunque, che ad un'analisi approfondita, qualunque oggetto ottenuto tramite processi di fusione e successiva solidificazione, rischia di mostrare differenze nella composizione in differenti punti dello stesso. Queste differenze possono essere anche estremamente elevate se il materiale non viene correttamente lavorato.

Nella pratica orafa si è ormai consolidato l'utilizzo di madreleghe assieme al metallo prezioso. La madrelega, se opportunamente prodotta, può garantire un'omogeneità di composizione per quanto riguarda tutti gli elementi non preziosi del metallo. Considerando i meccanismi segregativi in fase di solidificazione di una lega, è dunque facile capire che la differenza di omogeneità che si ottiene legando del metallo puro ad una lega già formata, piuttosto che partire da elementi puri, è estremamente significativa, a favore dell'utilizzo della madrelega. È pratica diffusa quella di fondere direttamente assieme madrelega e metallo prezioso, senza effettuare una prefusione. In questo caso, l'omogeneità del titolo non è garantita. Nonostante la madrelega sia in pezzatura di piccole dimensioni, è difficile ottenere un buon miscelamento allo stato solido, che si ripercuote anche in fase liquida.

Un risultato migliore, ad esempio, si può ottenere utilizzando delle macchine fonditrici ad induzione. Il campo magnetico da esse generato contribuisce al mescolamento del fuso. In alternativa, anche il mescolamento meccanico può migliorare l'omogeneità. Abbiamo sempre ritenuto però, che il metodo più efficace per ottenere un adeguato miscelamento del materiale, fosse quello di effettuare una prefusione di metallo prezioso e madrelega assieme.

Allo stato attuale non esistono studi specifici fatti ad hoc per verificare quello che l'esperienza e le sensazioni ci sug-

gerivano. È dunque questo lo scopo del nostro lavoro, ovvero quello di analizzare l'omogeneità di un getto in funzione delle condizioni operative. Oltre a ciò si è voluto indagare anche sull'influenza del materiale stesso. Per far questo si sono analizzati i comportamenti di leghe d'oro bianco e d'oro giallo nelle carature più rappresentative, ovvero: 9, 14, 18 ct. Si è voluto anche indagare se materiali con grano fine presentassero una maggiore omogeneità. Per far questo dunque si sono confrontate leghe con e senza affinatore di grano. Una volta stabilite le composizioni, queste sono state utilizzate in processi di colata a cera persa e colata in staffa sia con che senza prefusione. Con questo studio in definitiva si è voluto sostanziare con un approccio scientifico e dei dati sperimentali quelle che erano sensazioni derivanti dalla pratica comune. Per fare questo alla fine del lavoro si sono contate circa 100 fusioni e più di 1000 analisi di titolo tramite coppellazione. un lavoro che conferma dei sospetti in modo più certo ed accurato di quanto fatto fino ad ora con gli strumenti, il tempo e i mezzi dei produttori che difficilmente riescono a dedicare un numero di test tale per capire questo tipo di cose.

2. Analisi preliminare

2.1 In fase di analisi preliminare si è scelto dunque di analizzare l'omogeneità ottenibile con due tra i più comuni processi produttivi ovvero colata a cera persa (o microfusione) e colata in staffa. Per fare questo si è pensato di fare dei prelievi in punti diversi dei vari campioni e verificare, tramite coppellazione, il titolo nei vari punti del getto. Si è deciso di utilizzare diverse leghe (oro bianco e oro giallo) in varie carature ed utilizzando diversi tipi di lavorazione (con o senza prefusione) in modo da poter valutare, nella maniera il più completa possibile, quelle che possono essere le varie realtà che si possono riscontrare nel mondo orafa. Per ogni set di parametri si è deciso di realizzare i campioni in doppio, ed anche la coppellazione è stata realizzata in doppio (per i primi set di parametri si sono effettuate anche prove in quadruplo per essere sicuri dei dati forniti dal laboratorio) per ciascun prelievo.

Per le prove in microfusione si è deciso di scegliere dei campioni di dimensioni standard. Si sono scelti 30 anelli

di diametro interno 16 mm e diametro esterno 21 mm. Sono stati disposti in un alberino in 5 piani da 6 anelli ciascuno. Le fusioni finali si sono effettuate in una macchina fonditrice ad induzione sottovuoto. Tutti i campioni sono stati colati ad una temperatura di 100°C superiore alla temperatura di liquidus ed i cilindri spenti dopo 600 secondi.

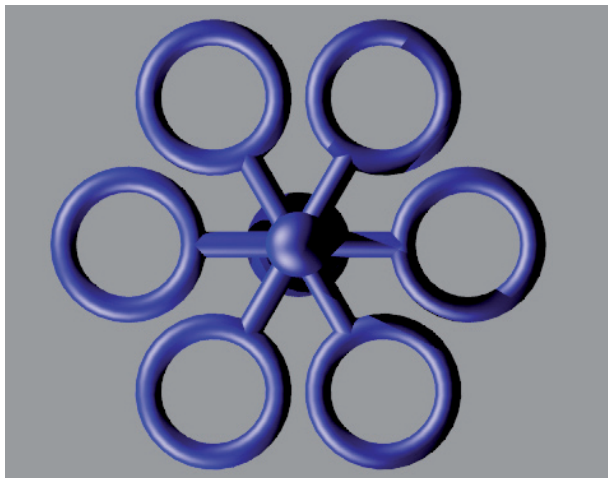
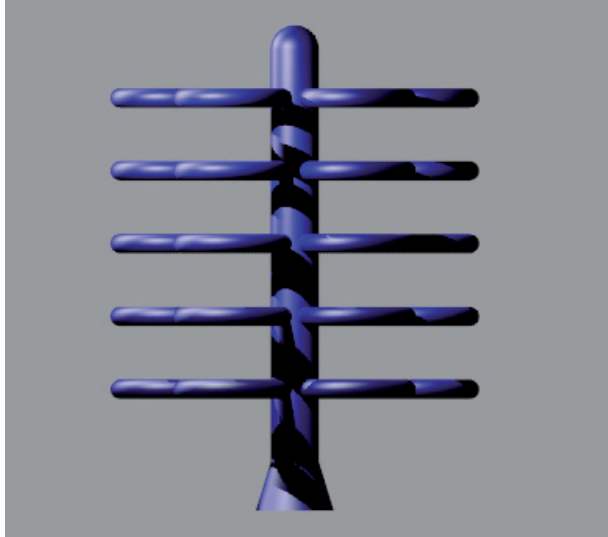


Figura 1 – Geometria alberino per prove di microfusione

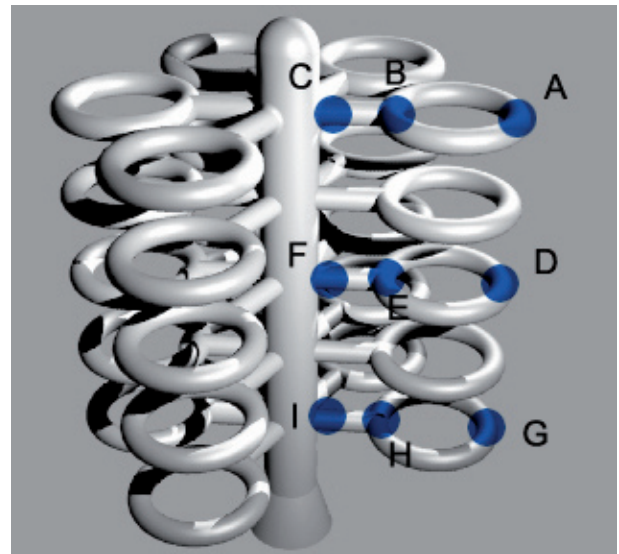


Figura 2 – Punti di prelievo per prove di microfusione

Per le colate in staffa invece si è utilizzata una lingottiera verticale di dimensioni 40x8mm.

Le dimensioni dell'alberino e della staffa sono state scelte in modo tale da fondere per ogni campione una quantità di materiale sufficiente (circa 400g) ad ottenere dei valori rappresentativi della pratica reale.

3. Preparazione dei campioni

3.1 La prima fase dello studio si è concentrata sulla produzione tramite microfusione. In primis si è scelto di verificare subito se il fatto di avere una microstruttura affinata comportasse benefici nell'omogeneità del titolo. Questa verifica è stata fatta solo con leghe a 14 ct in modo da poter eventualmente in seconda battuta non curarsi più di questo aspetto. Di seguito si riporta il prospetto di tutte le leghe utilizzate per lo studio.

Leghe utilizzate in microfusione:

Caratura	Bianco		Giallo	
	Lega con affinatore	Lega senza affinatore	Lega con affinatore	Lega senza affinatore
14ct	14CTB2	14CTB1	14CTG2	14CTG1
9ct		9CTB1		9CTG1
18ct		18CTB1		18CTG1

Tabella 1 – Leghe utilizzate nei processi di microfusione

In particolare le differenti leghe utilizzate hanno la seguente composizione:

Lega	Au	Ag	Zn	Ni	Cu
9CTB1	375	-	125	75	Bal.
9CTG1	375	93.7	93.7	-	Bal.
14CTB1	585	-	75	83	Bal.
14CTB2	585	-	75	83	Bal.
14CTG1	585	83	62	-	Bal.
14CTG2	585	83	62	-	Bal.
18CTB1	750	-	45	50	Bal.
18CTG1	750	117	10	-	Bal.

Tabella 2 – Composizione delle leghe utilizzate nei processi di microfusione

Come composizioni si sono scelte quelle più comun-

emente diffuse nella pratica orafa.

Le differenze di titolo tra i campioni con e senza affina-
tore di grano si possono valutare nei due grafici seguenti.
È da sottolineare che per semplicità i dati delle prove in
doppio sono stati mediati ottenendo così un valore uni-
co.

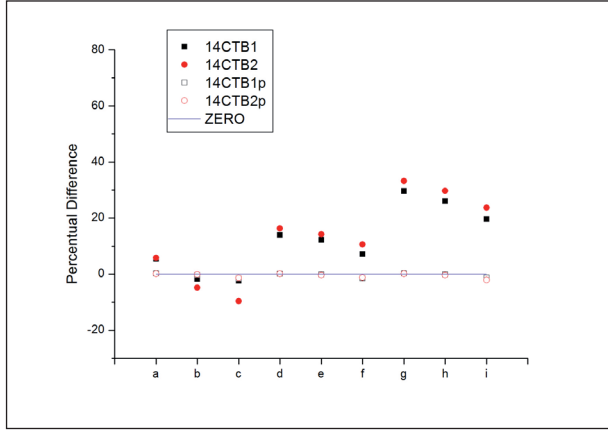


Figura 3 – Effetto della presenza di microstruttura fine in una lega bianca

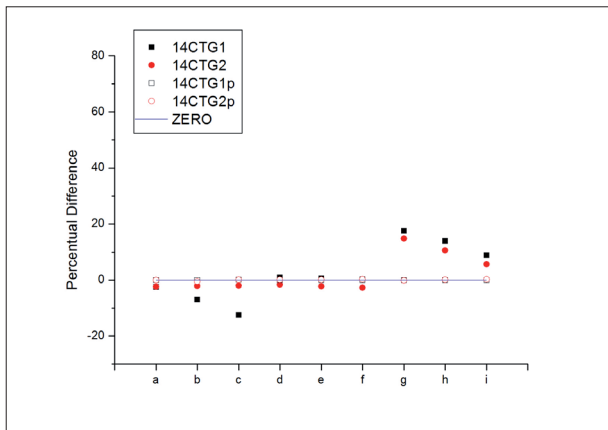


Figura 4 - Effetto della presenza di microstruttura fine in una lega gialla

Il codice della lega seguito dalla p minuscola sta a indicare i campioni ottenuti effettuando prefusione. Sull'asse delle ascisse sono stati posti tutti i punti di prelievo nell'alberino (vedi figura 4) mentre sull'asse delle ordinate vi è la differenza rispetto al titolo nominale espressa in percentuale.

Si può notare come la differenza tra i campioni con e senza affina-
tore di grano sia del tutto trascurabile, sia per quanto riguarda le leghe bianche, sia per quelle gialle. Questa osservazione ha suggerito che il fatto di avere una microstruttura fine non garantisce una maggiore omogeneità. Per i test successivi dunque si sono analizzate solo delle leghe specifiche per il tipo di lavorazione, ovvero contenenti Si per le prove di microfusione e contenenti elementi affinatori per le prove di colata in staffa.

Oltre all'analisi sull'influenza della microstruttura, si è deciso di verificare, anche, se esistessero delle differenze nell'omogeneità del getto nel caso si utilizzassero diversi

metodi per effettuare la prefusione. Per fare questo tipo di test si sono usate le leghe in 14 carati e si sono comparati i risultati ottenuti utilizzando per la prefusione i due metodi più comuni:

- prefusione con colata in staffa, laminazione del lingotto e tranciatura in pezzatura di piccole dimensioni
- prefusione con colata in acqua e formazione di graniglia

I risultati sono riportati nei due grafici successivi. I valori in nero rappresentano i campioni con prefusione effettuata in staffa, mentre quelli in rosso i campioni che hanno subito prefusione con colata in acqua.

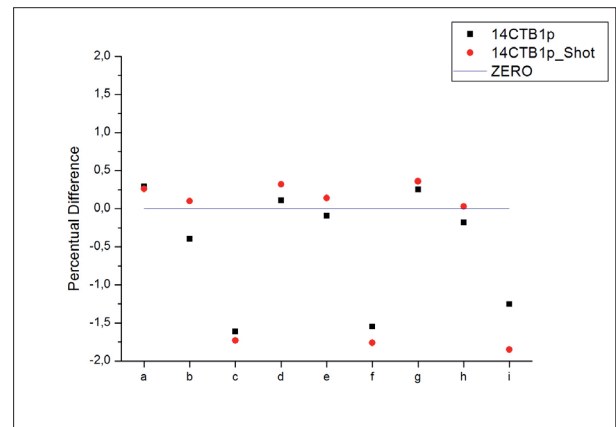


Figura 5 – Comparazione di diversi metodi di prefusione

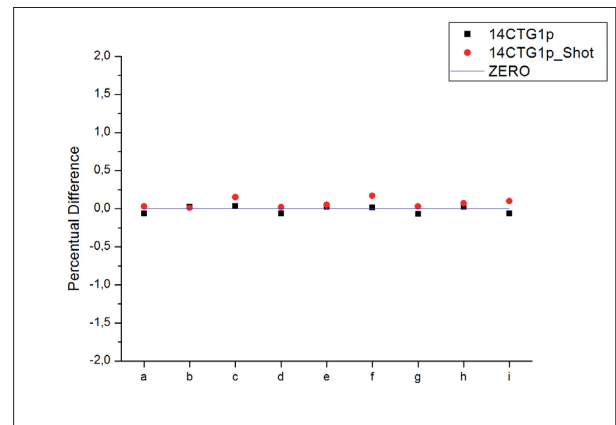


Figura 6 – Comparazione di diversi metodi di prefusione

Come si può notare la differenza di omogeneità nei getti finali, è comparabile sia che si sia effettuata la prefusione in staffa, che in acqua. Sia i valori in senso assoluto, sia gli andamenti sono del tutto sovrapponibili (compatibilmente con una certa incertezza sperimentale). Si sono pertanto ritenuti validi entrambi i metodi si è proseguito per i successivi campioni, ad effettuare prefusione in staffa per questioni di praticità.

Il secondo stadio del lavoro ha riguardato i processi di colata in staffa utilizzando le seguenti leghe:

Caratura	Bianco	Giallo
9ct	9CTBS	9CTGS
14ct	14CTBS	14CTGS
18ct	18CTBS	18CTGS

Tabella 3 - Leghe utilizzate nei processi di colata in staffa

In particolare la composizione per le leghe per colata in staffa era:

Lega	Au	Ag	Zn	Ni	Cu
9CTBS	375	-	93,7	93,7	Bal.
14CTBS	585	-	75	83	Bal.
18CTBS	750	-	30	50	Bal.
9CTGS	375	93,7	93,7	-	Bal.
14CTGS	585	83	62	-	Bal.
18CTGS	750	117	5	-	Bal.

Tabella 4 – Composizione delle leghe utilizzate nei processi di colata in staffa

La preparazione dei campioni in microfusione è avvenuta, come suddetto, in due modi:

- senza prefusione
- con prefusione

La prefusione è avvenuta utilizzando una macchina fonditrice ad induzione. Il metallo fuso è stato mescolato utilizzando un agitatore in grafite. Il metallo è stato colato a mano (ad una temperatura di 100°C superiore alla TI) in staffa. Il lingotto è dunque stato laminato e tagliato per facilitare la fase successiva di lavorazione.

La fusione definitiva è avvenuta in una macchina fonditrice ad induzione sottovuoto. La temperatura di colata è stata di 100°C superiore alla TI, mentre la temperatura dei cilindri e il tempo di spegnimento degli stessi sono stati mantenuti costanti per tutti i campioni (600°C e 15 min.).

Anche le lastre realizzate tramite colata in staffa sono state prodotte con e senza prefusione. In questo caso tutte le fusioni (anche le prefusioni) sono state fatte in macchina fonditrice ad induzione sottovuoto, in modo da limitare gli effetti del fattore umano che si avrebbero colando manualmente. Per ogni lastra è stato prelevato il materiale in 6 punti a 3 differenti altezze.

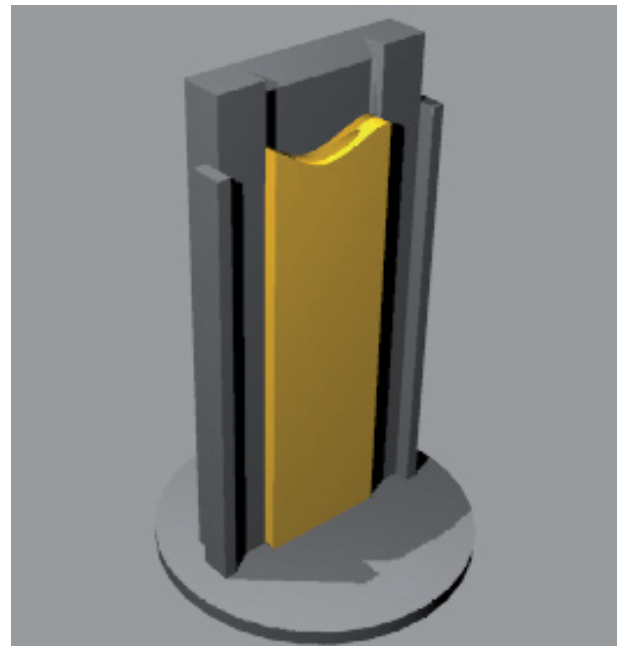


Figura 7 – Colata in staffa

4. Analisi dei dati - Microfusione

4.1 I primi risultati analizzati sono stati quelli dei campioni tramite microfusione. Il primo obiettivo è stato quello di isolare l'effetto del materiale. I risultati delle analisi sono visibili nei grafici seguenti:

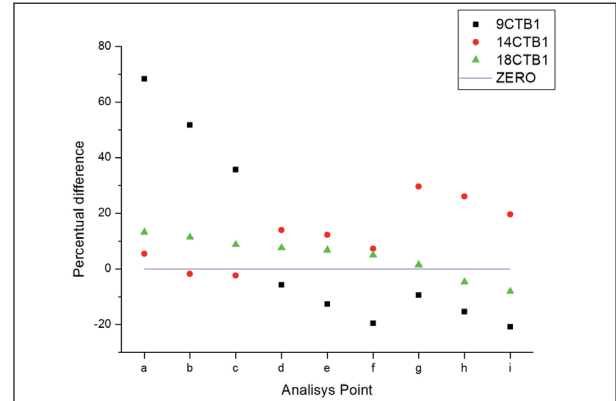


Figura 8 – Varianza di titolo in leghe bianche senza prefusione

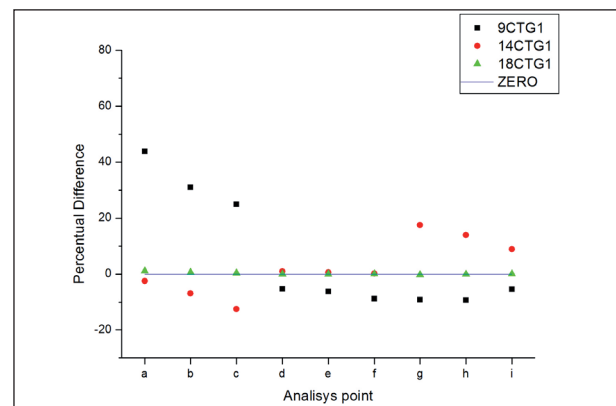


Figura 9 – Varianza di titolo in leghe gialle senza prefusione

I due grafici hanno la stessa scala. Si può pertanto apprezzare come la forbice dei valori per le leghe d'oro bianco sia più ampia rispetto a quella delle leghe di oro giallo, per qualunque caratura si consideri.

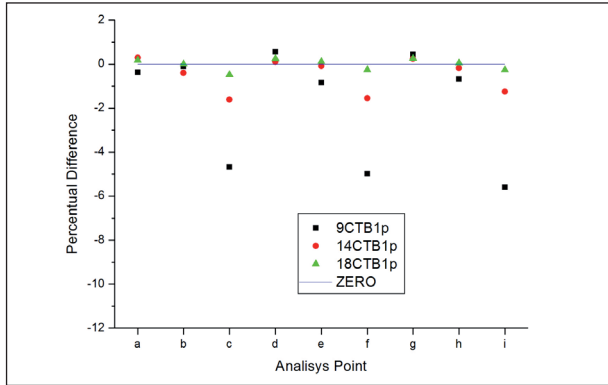


Figura 10 – Varianza di titolo in leghe bianche con prefusione

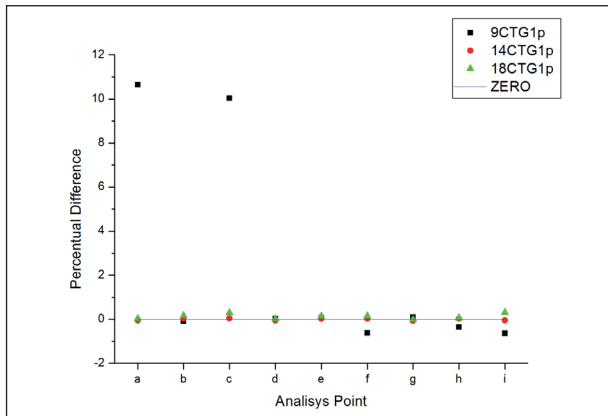


Figura 11 – Varianza di titolo in leghe gialle con prefusione

Il medesimo ragionamento può essere fatto per quanto riguarda i risultati ottenuti dopo prefusione. Anche in questo caso infatti si può affermare che passando da leghe a base Ni a leghe a base Ag la disomogeneità diminuisce. Questo può portare a concludere che le leghe per oro bianco siano molto più sensibili ai fenomeni segregativi che si attivano in fase di solidificazione. I fenomeni di segregazione sono un comportamento naturale di una lega nel passaggio dalla fase liquida a quella solida.

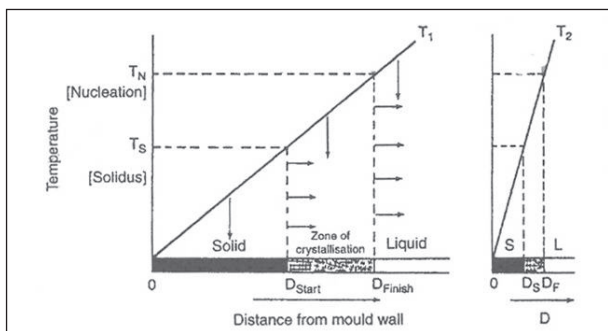


Figura 12 – Influenza del gradiente di temperatura e della composizione della lega sulla dimensione della “zona pastosa”

Bisogna dire innanzitutto che la solidificazione è regolata dalla cosiddetta “zona pastosa” (vedi figura 10). Dato che

non si ha a che fare con metalli puri, la solidificazione non avviene ad una temperatura ben precisa, bensì in un intervallo tra le temperature di solidus e liquidus. Sul fronte di solidificazione dunque si forma una zona né solida né liquida, in cui iniziano a nucleare e a crescere i primi germi solidi. Durante la solidificazione possono venirsi a creare situazioni estremamente critiche per il materiale: dato che, come detto, si è in presenza di leghe di materiali e non di metalli puri, durante la solidificazione si hanno fenomeni di segregazione di alcuni elementi nel liquido che rimane attorno ai grani in formazione (vedi figura 11). Man mano quindi che il processo avanza, la zona pastosa potrà dunque avere una composizione che diventa più critica al procedere della solidificazione. Nel momento in cui si solidificherà anche l'ultimo liquido, questo sarà di una composizione estremamente differente a quella nominale e potrà dare luogo a differenze di composizione dovute a fenomeni di macrosegregazione.

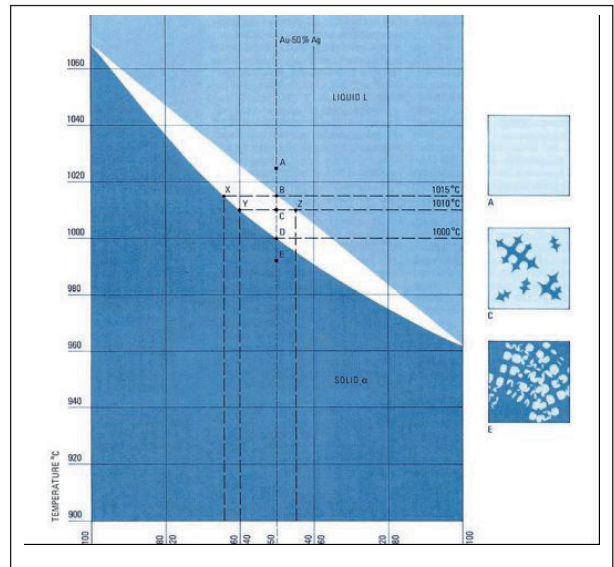


Figura 13 – Diagramma di stato di una lega binaria

Questo fenomeno può essere più o meno critico in funzione degli elementi e della loro percentuale in lega. Si tratta di un fenomeno sensibile anche alla velocità di solidificazione. I fenomeni segregativi hanno luogo soprattutto nelle condizioni in cui il materiale si raffreddi in condizioni sufficientemente prossime alle condizioni di equilibrio. Un raffreddamento veloce, pertanto, limita questo tipo di fenomeno. Ma, se a questo si aggiunge anche una forte disomogeneità nella miscelazione allo stato solido, si avrà in ogni punto del fuso un differente rapporto tra i vari elementi con la conseguenza che le dinamiche e le temperature di solidificazione subiranno sensibili variazioni aumentando ulteriormente il rischio di ottenere disomogeneità. Il fatto di ottenere dei valori più vicini a quelli nominali per i campioni con prefusione è dovuto al fatto che grazie alla prefusione, durante la quale si interviene mescolando sia meccanicamente che chimicamente, si può solidificare un materiale che in ogni punto del fuso presenti una composizione molto simile. Quest'andamento è evidenziato mediando i valori relativi ai punti di assaggio della stessa riga.

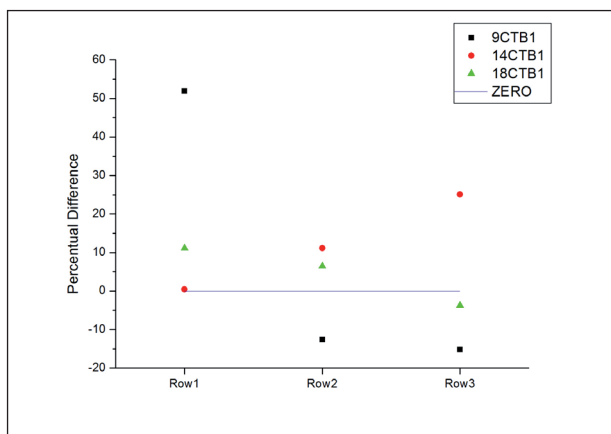


Figura 14 - Varianza di titolo per righe in leghe bianche senza prefusione

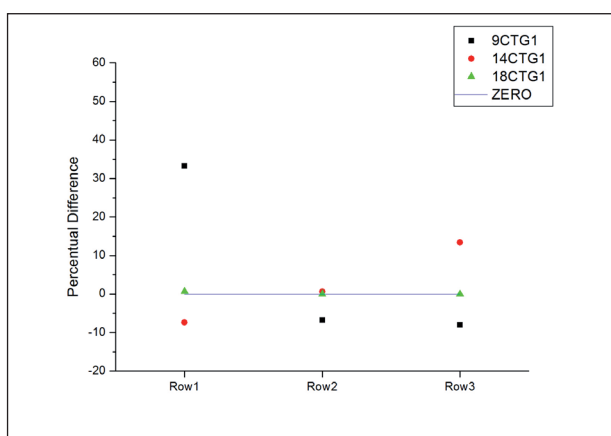


Figura 15 - Varianza di titolo per righe in leghe gialle senza prefusione

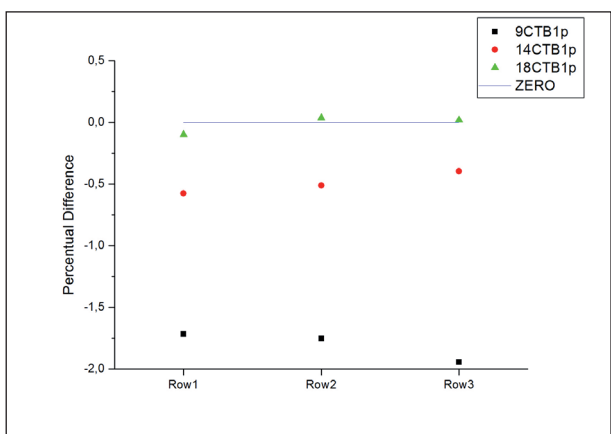


Figura 16 - Varianza di titolo per righe in leghe bianche con prefusione

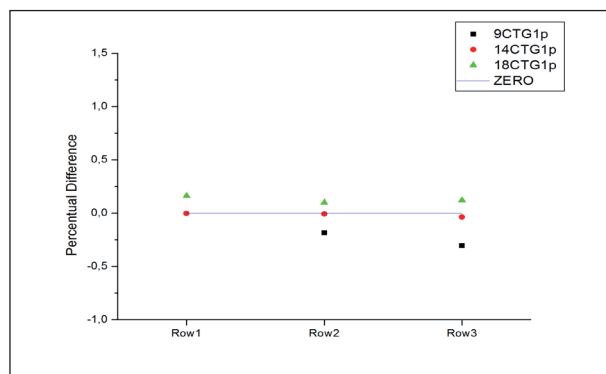


Figura 17 - Varianza di titolo per righe in leghe gialle con prefusione

Anche in questo caso si può notare che la differenza tra leghe a base Ni e leghe a base Ag è piuttosto evidente. La differenza è dovuta al fatto che probabilmente il Ni in lega “apre” molto la lente del diagramma di stato, rendendo così più critici i fenomeni di segregazione. Dai grafici soprastanti però si può ricavare anche un’altra informazione. All’aumentare della caratura la differenza di omogeneità diminuisce. Questo andamento era prevedibile. Aumentando, infatti, la quantità di un elemento (in questo caso Au) ci si avvicina progressivamente alla condizione di solidificare un metallo puro. In questo caso dunque l’influenza dei fenomeni di segregazione sarà via via meno importante con i relativi benefici per quanto riguarda l’omogeneità del titolo. Si vuole sottolineare l’esempio della lega 18CTG1. Anche senza prefusione i valori di titolo riscontrati si avvicinano sensibilmente a quelli nominali. Lo stesso non si può dire per la lega bianca in 18 ct.

Riassumendo si possono valutare i grafici sottostanti dove vengono affiancate leghe con la stessa caratura ma con colore e lavorazione diversi (con o senza prefusione).

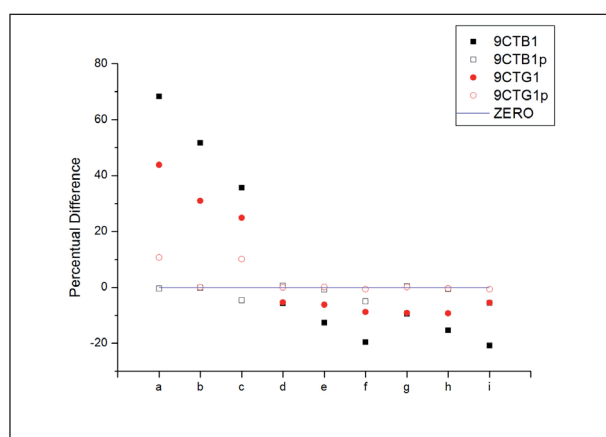


Figura 18 - Varianza di titolo in leghe d’oro in 9 ct

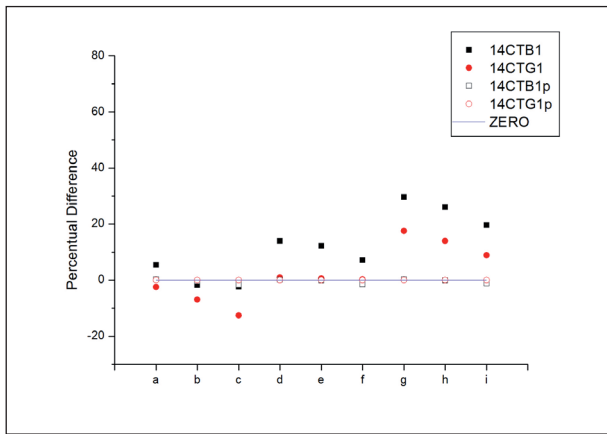


Figura 19 - Varianza di titolo in leghe d'oro in 14 ct

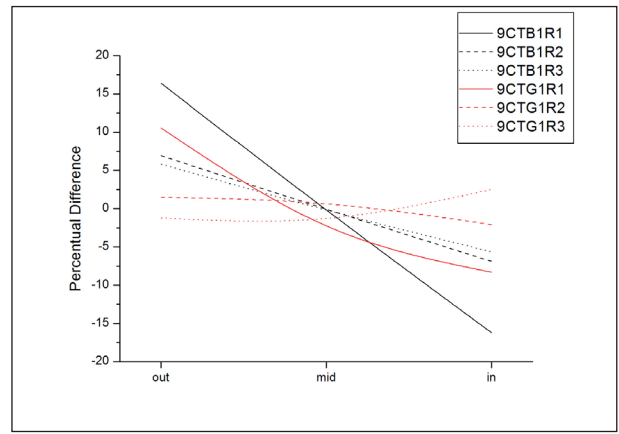


Figura 21 - Variazione di titolo rispetto alla distanza da alimentatore centrale 9 ct

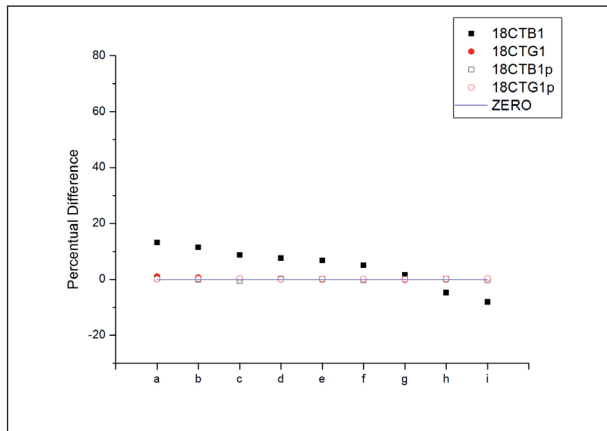


Figura 20 - Varianza di titolo in leghe d'oro in 18 ct

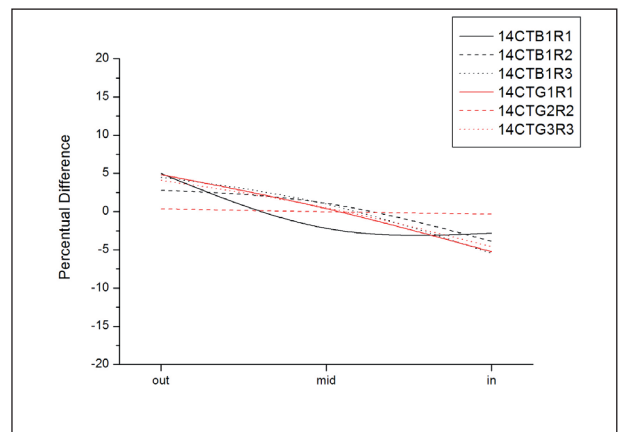


Figura 22 - Variazione di titolo rispetto alla distanza da alimentatore centrale 14 ct

Ancora una volta si può apprezzare la maggiore omogeneità delle leghe gialle rispetto a quelle bianche e di quelle a titolo maggiore rispetto a quelle a titolo inferiore. Analizzando questi andamenti però ci è saltato all'occhio anche un altro particolare. Se si considerano i punti sulla medesima riga (ovvero rispettivamente i punti ABC, DEF, GHI) si può notare che in generale i punti più lontani dall'alimentatore centrale (A; D, G) hanno un titolo più alto rispetto a quello medio del piano. Questo andamento è stato riportato nei tre grafici seguenti. In particolare si è fatto riferimento solo ai valori ottenuti senza prefusione dato che quelli con prefusione avevano tra di loro una differenza talmente esigua che renderebbe difficile l'individuarsi di un andamento preciso. Nelle ascisse ci sono i punti esterni, medi ed interni di ciascuna fila di anelli, mentre nelle ordinate è riportato lo scostamento del titolo rispetto al titolo medio di ciascuna fila espresso in percentuale. Ogni serie di dati rappresenta una riga con il nome della lega seguito dall'identificativo del piano (9CTB1R1= lega bianca 9 ct piano ABC, etc.).

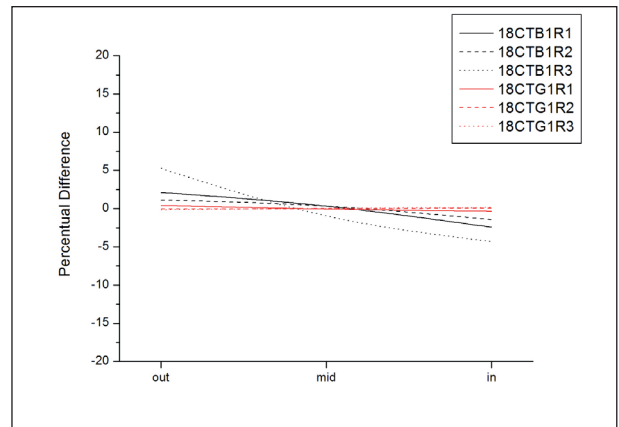


Figura 23 - Variazione di titolo rispetto alla distanza da alimentatore centrale 18 ct

La differenza tra interno ed esterno è probabilmente dovuta a differenti regimi di raffreddamento. Come detto sopra la solidificazione è guidata dalla zona pastosa. La zona pastosa si può creare a seguito del sottoraffreddamento. Il sottoraffreddamento può essere di due tipi: sottoraffreddamento costituzionale e sottoraffreddamento termico. Il sottoraffreddamento costituzionale è dato dalla variazione delle temperature di solidus e liquidus a causa delle differenze di composizione e di questo se ne è

già accennato in precedenza. In questo caso la differenza di composizione è probabilmente dovuta a fenomeni segregativi dovuti a sottoraffreddamento termico. I regimi di raffreddamento tra interno ed esterno sono infatti estremamente diversi a causa della forte influenza termica dell'alimentatore e della varie masse calde del getto concentrate nella parte centrale.

Valutando nel complesso i dati per i processi di microfusione, si può affermare una netta differenza nell'omogeneità del titolo effettuando o meno la prefusione. Questa differenza è più sensibile nel caso in cui si abbia a che fare con leghe in bassa caratura e/o con leghe a base Ni.

5. Analisi dei dati - Colata in staffa

5.1 Per quanto riguarda i campioni ottenuti tramite colata in staffa, si sono eseguiti due prelievi a tre differenti altezze della lastra (vedi figura 22).

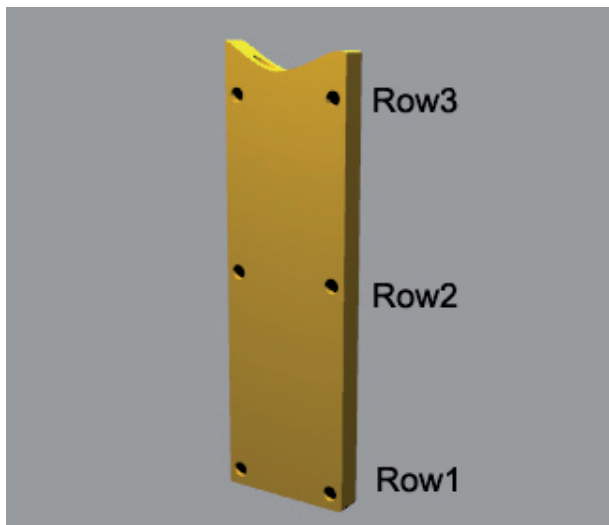


Figura 24 – Punti di prelievo per prove di colata in staffa

Anche in questo caso per ogni punto di prelievo le prove di coppellazione sono state eseguite in doppio. In tutti i grafici seguenti, in ogni caso, si sono riportati i valori mediati per ciascuna fila dato che non si sono riscontrate differenze significative. Così come per i dati ottenuti dalle prove di microfusione si sono espressi dei valori corrispondenti ad una variazione rispetto al titolo nominale in percentuale. Il codice della lega seguito dalla lettera p contrassegna le serie di valori relative a campioni che hanno subito anche una prefusione.

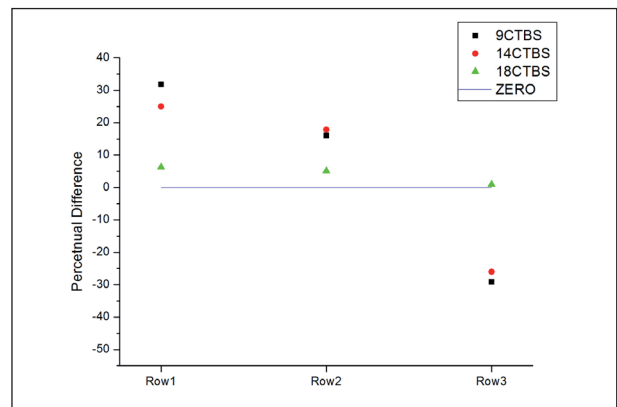


Figura 25 – Varianza di titolo in leghe d'oro bianco ottenute tramite colata in staffa senza prefusione

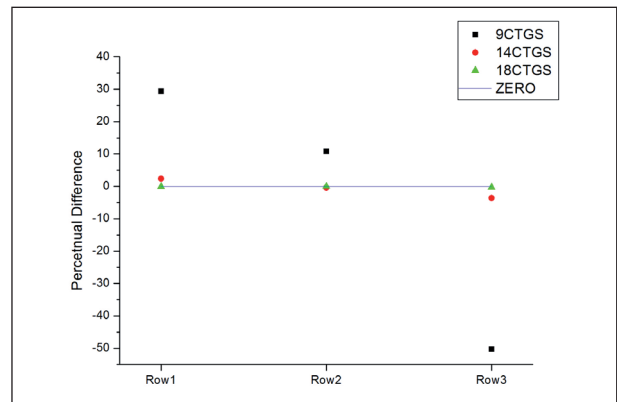


Figura 26 – Varianza di titolo in leghe d'oro giallo ottenute tramite colata in staffa senza prefusione

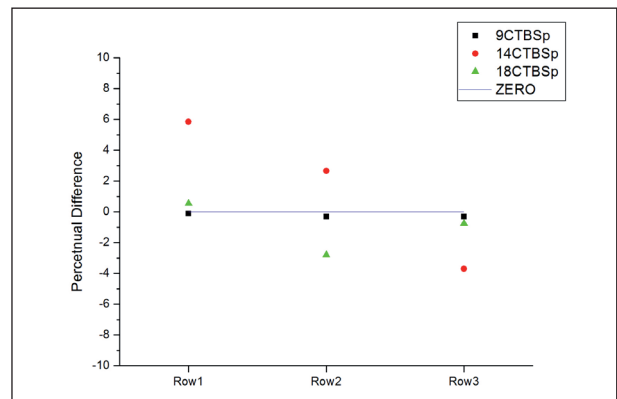


Figura 27 – Varianza di titolo in leghe d'oro bianco ottenute tramite colata in staffa con prefusione

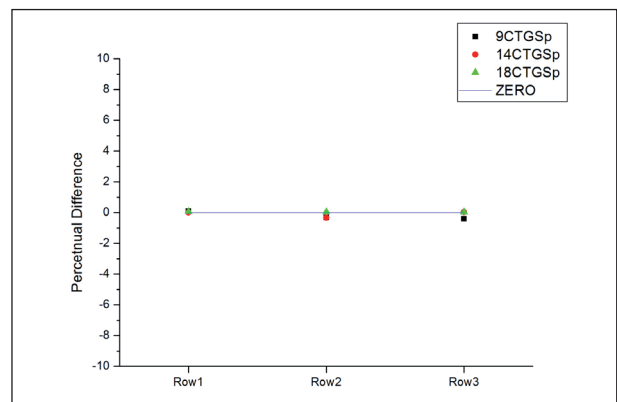


Figura 28 – Varianza di titolo in leghe d'oro giallo ottenute tramite colata in staffa con prefusione

I risultati ottenuti dalle prove di colata in staffa sostanzialmente confermano quanto visto in microfusione. Rispetto alla microfusione, però, c'è da notare come la differenza tra leghe per oro bianco e leghe per oro giallo non sia così evidente.

Lo scambio di calore del raffreddamento del materiale nella staffa è molto più semplice e prevedibile rispetto a quello relativo ai processi di microfusione. Anche la velocità di solidificazione risulta essere inferiore. Secondo la nostra opinione, dunque, nel caso della colata in staffa, il fenomeno che principalmente regola la solidificazione è il sottoraffreddamento termico piuttosto che quello costituzionale. Come conseguenza si ha che l'influenza del materiale è meno sentita e dunque si ottengono variazioni di titolo del tutto simili tra leghe a base Ni e leghe a base Ag della stessa caratura.

Sembra invece essere mantenuta la differenza tra bassa ed alta caratura, rispettivamente molto e poco disomogenea, così come la sensibile differenza tra campioni con e senza prefusione.

6. Conclusioni

6.1 I risultati dello studio condotto indicano che, nel caso in cui si voglia essere sicuri che l'omogeneità, e di conseguenza il titolo della lega, rientrino entro determinati limiti, è necessario effettuare almeno una prefusione. In caso di utilizzo di materiali "complicati" inoltre una sola prefusione sembra non bastare.

Dalle indicazioni ricavate da questo lavoro si possono ritenere "complicate" le leghe d'oro in bassa caratura e le leghe per oro bianco (a base Ni). Per queste due tipologie di materiali si sono infatti verificati i medesimi comportamenti sia in lavorazioni di microfusione che di colata in staffa. Utilizzando questo tipo di materiale non è detto che decidere di produrre oggetti a titolo più elevato di quello legale metta comunque al riparo dal rischio di avere oggetti che non rispettino i limiti stabiliti per legge. Come infatti evidenziato dalle figure 14-15-16-17 per le leghe in bassa caratura, si sono riscontrati valori sottotitolo anche dopo una prefusione.

Come corollario e sviluppo di quanto riscontrato dal presente lavoro sarebbe interessante verificare l'influenza degli elementi utilizzati per conferire le proprietà colorimetriche desiderate (Ag e Zn per leghe gialle, Ni e Zn per leghe bianche) sull'omogeneità. Un primo esempio è illustrato nei grafici successivi. Sull'asse delle ordinate sono, come al solito, riportati i valori di scostamento rispetto al titolo nominale espressi in percentuale, mentre sull'asse delle ascisse è riportata la percentuale dell'"elemento colorante" (Ag per leghe gialle e Ni per leghe bianche) in rapporto alla percentuale d'oro. Si è considerata una serie di valori per ogni distanza di analisi:

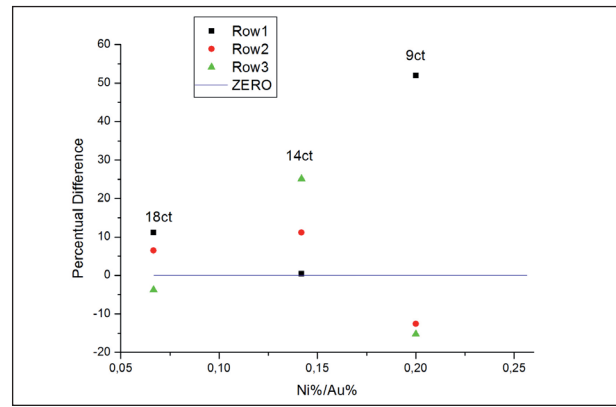


Figura 29 – Variazione del titolo in funzione delle percentuali di Ni e Au in lega nei processi di microfusione

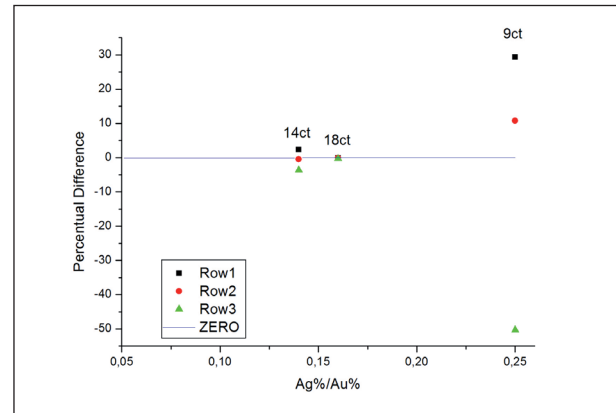


Figura 30 – Variazione del titolo in funzione delle percentuali di Ag e Au in lega nei processi di microfusione

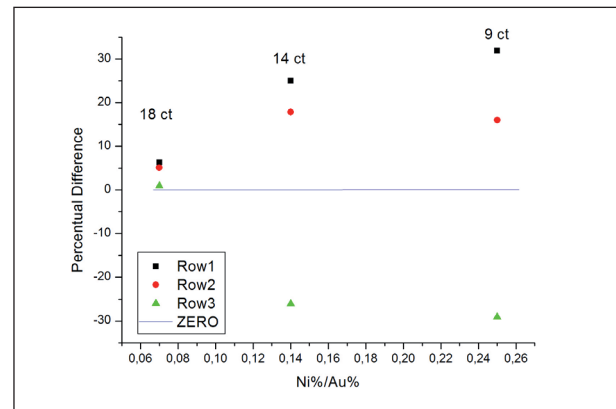


Figura 31 – Variazione del titolo in funzione delle percentuali di Ni e Au in lega nei processi di colata in staffa

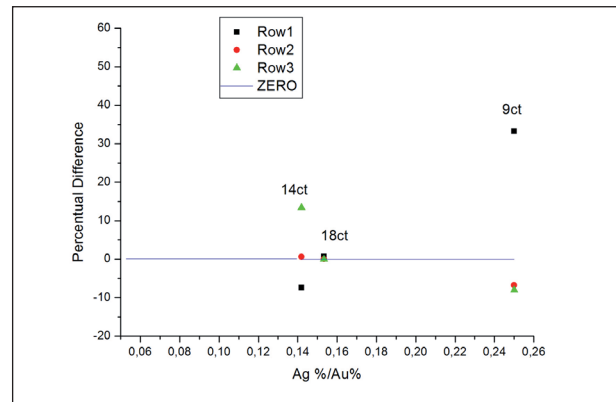


Figura 32 – Variazione del titolo in funzione delle percentuali di Ag e Au in lega nei processi di colata in staffa

In questo lavoro ci si è concentrati soprattutto sull'influenza della caratura sull'omogeneità della composizione, scegliendo composizioni standard. Non ci si è curati della differenza utilizzando madreleghe di tonalità di colore differente nella stessa caratura. Potrebbe essere dunque interessante valutare, ad esempio, se vi è differenza di omogeneità tra una lega d'oro 18 ct 2N ed una 3N isolando così l'influenza dell'argento.

Un altro aspetto su cui sarebbe opportuno effettuare delle analisi, è il processo di colata continua. Questo processo tecnologico, infatti, comporta dinamiche di fusione, colata e raffreddamento sostanzialmente dissimili ai metodi analizzati finora. Il materiale permane per periodi di tempo più elevati ad elevate temperature. Partendo da questi presupposti, dunque, si ritiene probabile un comportamento differente da quanto visto finora.