

# Come ottenere le migliori prestazioni dalla polvere refrattaria

**RALPH CARTER**

*Ingegnere dei Materiali, Ransom & Randolph, Maumee, Ohio, USA*

## Introduzione

In ogni fase della produzione di gioielleria vi sono parecchi fattori che possono avere effetto negativo sulla qualità del prodotto, per cui il controllo del processo è molto importante. La preparazione dello stampo refrattario è una delle fasi in cui il controllo del processo è di importanza vitale. La maggior parte dei produttori di refrattario aiuta gli utilizzatori a controllare le variabili del processo, fornendo materiale con caratteristiche costanti, istruzioni per l'uso e assistenza tecnica.

Tuttavia una manipolazione errata della polvere refrattaria spesso rende vani i loro sforzi. Cattiva conservazione, qualità scadente dell'acqua, rapporti di miscelazione errati, metodi di miscelazione inefficienti, mancanza di controllo della temperatura ed altre cause possono peggiorare la qualità dei getti e causare perdite di produzione e di denaro.

In questo articolo sono presentati alcuni dati che dimostrano gli effetti di alcuni fattori sulle proprietà del refrattario [1, 2] e si discuteranno i motivi per cui questi sono importanti.

I fattori che saranno esaminati sono: qualità dell'acqua, temperatura dell'acqua e della polvere ed anche rapporto di miscelazione acqua/polvere. Si dimostrerà come le proprietà e quindi le prestazioni dei refrattari con legante gesso dipendano da questi fattori. Per meglio capire i risultati, è necessario fornire alcune informazioni di base sui refrattari al gesso e sui metodi di prova usati.

## Informazioni di base

I refrattari con legante gesso per gioielleria contengono tre tipi di materiale: il refrattario, il legante e gli agenti di controllo. I materiali refrattari possono sopportare alte temperature senza decomporsi e la silice assolve questa funzione. I leganti tengono insieme il refrattario per formare lo stampo e questa è la funzione del gesso. Gli agenti di controllo sono usati per controllare la velocità di indurimento e per accentuare varie proprietà del refrattario.

In pratica il legante, gesso, si forma per reazione tra l'acqua ed il semiidrato del solfato di calcio [3]. Le molecole di acqua si legano chimicamente con le molecole del semiidrato per formare il gesso. Come accade per la maggior parte delle reazioni chimiche, la velocità di reazione dipende fortemente dalla temperatura, dai composti che possono interferire, dalle condizioni dei reagenti e dalla loro quantità [4].

I produttori di refrattario compiono grandi sforzi per garantire

che questa reazione avvenga con la velocità richiesta. Ciò si ottiene sottoponendo i fornitori delle materie prime a severe norme di purezza, qualità e costanza. Anche l'uso degli agenti di controllo contribuisce ad ottenere questo risultato.

Tuttavia nell'acqua [5] si trovano per natura composti che modificano la velocità di reazione e possono annullare gli sforzi dei produttori per ottenere un prodotto costante.

## Metodi di prova

### *Tempo di travaso (pour time)*

Il tempo di travaso è simile al tempo di lavorazione, con una piccola differenza. Il tempo di lavorazione è quello che intercorre tra il momento in cui la polvere è stata aggiunta all'acqua e quello in cui l'operatore si accorge che la miscela è troppo viscosa per continuare a lavorarla o a manipolarla [6]. È facile capire che questo dipende dall'applicazione e dalle preferenze dell'utilizzatore. Il tempo di travaso può essere invece definito in modo meno soggettivo. Il tempo di travaso è quello necessario perché il refrattario diventi talmente viscoso da non poter essere versato ed è una misura del tempo di reazione. Per una migliore riproducibilità dei risultati, si miscela il refrattario con una intensità e per un tempo prefissati ed i travasi sono eseguiti ogni 15 secondi esatti [7].

### *Tempo di maturazione (set time)*

Il tempo di maturazione è quello necessario perché il refrattario diventi abbastanza duro perché l'ago di Vicat non penetri in esso per più di 1 mm. L'ago di Vicat ha diametro di 1 mm ed è premuto da un peso di 300 g [7].

A questo punto il refrattario ha raggiunto circa il 22% della sua resistenza massima [6]. Prima che sia abbastanza duro da poterlo sottoporre a ulteriori lavorazioni, come il trasferimento nel forno di calcinazione, occorreranno ancora 1-2 ore.

### *Assettamento (slump)*

Per misurare la fluidità di un refrattario si usa la prova di assettamento. Per questa prova il refrattario è miscelato come per la prova di travaso e per la misura del tempo di maturazione. Un poco di impasto liquido è versato in un cilindro alto 5 cm e con 3,5 cm di diametro, appoggiato su una lastra di vetro. La parte superiore dell'impasto è portata a livello. Dopo esattamente 2 minuti il cilindro è sollevato dal vetro [7]. L'impasto si abbasserà e si allargherà egualmente in tutte le direzioni. Un refrattario più

fluido originerà un disco di diametro maggiore rispetto ad uno più viscoso.

### Resistenza (strength)

La resistenza alla compressione del refrattario crudo corrisponde al carico richiesto per rompere a compressione un provino di refrattario due ore dopo che è indurito. La resistenza a compressione dopo cottura corrisponde al carico richiesto per rompere a compressione un provino di refrattario dopo calcinazione e raffreddamento lento a temperatura ambiente. La calcinazione riduce drasticamente la resistenza del refrattario. Per alcuni refrattari la resistenza diminuisce di più che per altri, in funzione degli additivi di controllo, delle dimensioni delle particelle, delle percentuali dei componenti e dei tipi di gesso.

Per ottenere risultati di resistenza a compressione precisi e ripetibili è essenziale seguire scrupolosamente una serie di procedure ripetibili [7]. I risultati possono essere influenzati dalla lunghezza del tempo di miscelazione, dall'intensità della miscelazione, dall'eventuale esecuzione di una fase sotto vuoto, dalla presenza di bolle d'aria, da imperfetto parallelismo delle estremità e dal fatto di aver spostato i pezzi troppo presto.

### Getti

Sono stati preparati getti con differenti rapporti acqua/polvere. Il refrattario è stato miscelato per 3 minuti e poi è stato sottoposto al vuoto per 20 secondi. I cilindri, alti 12,7 cm e con diametro di 10 cm, sono stati riempiti fino all'estremità superiore dell'alberello in cera e sottoposti al vuoto per 1 minuto. Lo riempimento dei cilindri è stato poi completato e li si è messi da parte per l'indurimento. Per la calcinazione è stato usato il programma consigliato [8]. Il colaggio è stato eseguito con i cilindri a 510°C. È stato colato in centrifuga un ottone con 60% di rame e 40% di zinco a 1091°C. Per tutti i rapporti acqua/polvere è stata usata la stessa procedura.

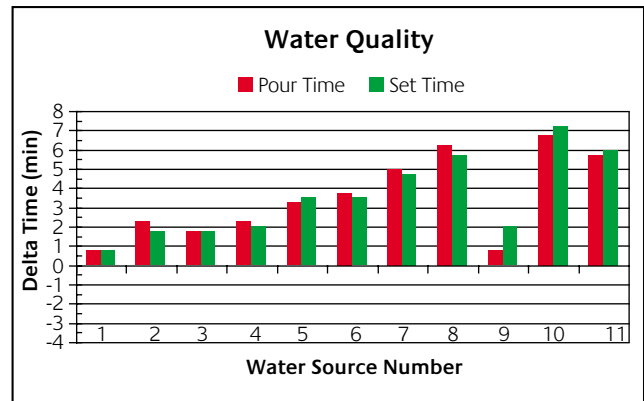
## Risultati e discussione

### Qualità dell'acqua

Per vedere quanto le proprietà del refrattario dipendano dalla qualità dell'acqua, sono stati usati campioni di acqua con provenienza differente. Lo scopo di esaminare acque di provenienza differente non era prevedere le prestazioni di

**Tabella 1 - Tipi di acqua sperimentati**

	Tipo di acqua	pH	Conduttività (millimhos)
1	Città, Maumee, USA	9,61	0,18
2	Città, Los Angeles, USA	7,93	0,64
3	Acqua di piscina	7,66	1,50
4	Superficie di un lago	8,31	0,25
5	Superficie di un fiume	8,43	0,58
6	Deflusso da un campo	7,52	1,55
7	Pozzo agricolo	8,19	0,40
8	Città, Hicksville, USA	7,80	0,69
9	Città, Birmingham, UK	7,70	0,10
10	Città, Londra est, UK	7,99	0,66
11	Città, Dartford, UK	7,62	0,55



**Figura 1** - Effetto del tipo di acqua sul tempo di travaso (Pour time) e sul tempo di maturazione (Set time)

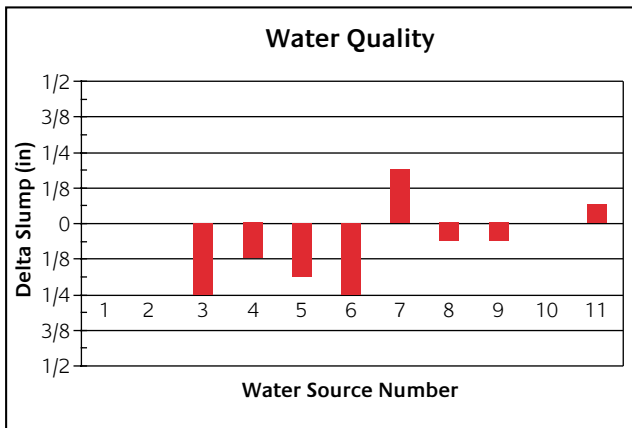
ciascuna di esse, poiché le loro caratteristiche possono cambiare nel tempo. Lo scopo era solo usare acqua di tipo differente di qualunque provenienza.

In Tabella 1 si vede che l'acidità (misurata come pH) e la conduttività variano in modo considerevole. La conduttività è l'inverso della resistività elettrica. L'acqua pura non conduce l'elettricità e la sua resistività tende all'infinito. L'inverso di infinito è zero, per cui la conduttività dell'acqua realmente pura è zero. Ma quando si sciolgono nell'acqua dei composti ionici, gli ioni rendono l'acqua conduttrice dell'elettricità [9]. L'unità di misura della conduttività usata qui è il millimhos.

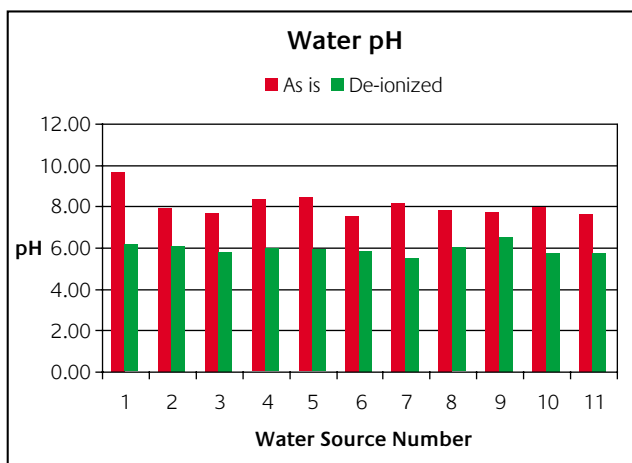
L'osservazione più importante che si ricava da questa tabella è che ogni tipo di acqua ha pH e conduttività differenti. Usando un solo tipo di polvere refrattaria sono stati sperimentati tutti i tipi di acqua per preparare un impasto liquido e misurarne il tempo di travaso, il tempo di maturazione e l'assetto. I risultati sono poi stati confrontati con quelli ottenuti miscelando il refrattario con acqua deionizzata dei laboratori di ricerca di R&R.

La deionizzazione è un metodo per purificare l'acqua, eliminando gli ioni in essa disciolti. I risultati ottenuti con l'acqua deionizzata sono stati sottratti da quelli ottenuti con l'acqua di altra provenienza, poiché si era interessati alle differenze rispetto alle condizioni standard. Le differenze sono state presentate nei grafici che seguono.

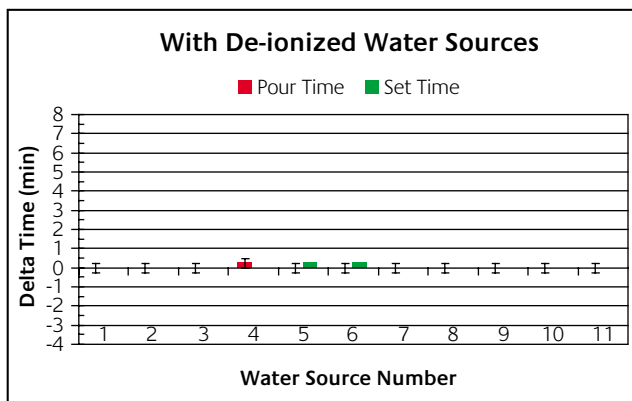
Nella figura 1 si vede cosa è accaduto per il tempo di travaso ed il tempo di maturazione del refrattario. Sull'asse y è riportata la differenza tra il risultato standard e quello ottenuto con un particolare tipo di acqua. Sull'asse x è riportato il numero di riferimento dei vari tipi di acqua. Il valore standard è rappresentato dallo zero, cioè dall'asse x. Tutti i tipi di acqua hanno causato un allungamento del tempo di travaso e del tempo di maturazione rispetto ai valori standard. Se i tempi fossero stati più brevi, la barra si sarebbe trovata nella zona negativa (sotto l'asse x). Alcuni tipi di acqua hanno provocato variazioni più rilevanti di altri.



**Figura 2** - Effetto del tipo di acqua sulla fluidità (Slump test = assettamento)



**Figura 3** - Effetto della deionizzazione sul pH dell'acqua. (Rosso = prima della deionizzazione, verde = dopo deionizzazione)



**Figura 4** - Effetto del tipo di acqua, dopo deionizzazione, sul tempo di travaso e sul tempo di maturazione

**Tabella 2 - Conduttività (in millimhos)**

Tipo di acqua	Come prelevata	Deionizzata
1	0,18	0,00
2	0,64	0,00
3	1,50	0,00
4	0,25	0,00
5	0,58	0,00
6	1,55	0,00
7	0,40	0,00
8	0,69	0,00
9	0,10	0,00
10	0,66	0,00
11	0,55	0,00

Per chi usa il refrattario, ciò significa che i tempi di lavorazione e maturazione sono più lunghi. In un caso, abbiamo avuto un cliente per il quale il tempo di maturazione era diventato più di 24 ore. Questo cliente non aveva mai avuto prima problemi di questo tipo, ma la qualità della sua acqua era cambiata a sua insaputa. Questo porta a notare che nel corso del tempo la qualità dell'acqua può cambiare, per cui l'acqua di una data provenienza può non dare problemi subito, ma li può dare domani o la settimana prossima. Il punto importante è che, se l'acqua cambia, cambiano anche il tempo di travaso e quello di maturazione e l'utilizzatore deve indovinare qual'è il momento giusto per caricare i cilindri nel forno.

Con la prova di assettamento si misura la fluidità. Nella fig. 2 si vede il grado di allargamento per i vari tipi di acqua. Anche qui sull'asse y è riportata la differenza rispetto al valore standard, che corrisponde all'asse x. Notare che alcuni tipi di acqua non hanno influenzato la fluidità, mentre l'acqua numero sette la ha aumentata. Con la maggior parte degli altri tipi di acqua è diminuita. Ogni tipo di acqua ha influenzato la fluidità in modo diverso. Ora non vi dovete preoccupare di quale tipo sia la vostra acqua. L'importante è sapere che ogni tipo di acqua si comporta in modo differente e, come risultato, può provocare difetti di colaggio, come intrappolamento di aria, impronte d'acqua (watermarks) o rugosità superficiale,

La qualità dell'acqua può far cambiare i valori previsti del tempo di travaso, del tempo di maturazione e della fluidità, causando variazioni nella preparazione dello stampo. A causa di questa variabilità non si sa più quanto sia lungo il tempo di lavorazione e quando sia il momento giusto per caricare i cilindri nel forno. Le variazioni di fluidità possono causare difetti.

Allora, cosa possiamo fare per rimediare a questa situazione? I produttori di refrattario consigliano di preparare l'impasto liquido miscelando la polvere refrattaria con acqua deionizzata [8]. Per controllare se questo consiglio è efficace, tutti i campioni di acqua sono stati deionizzati e sono poi stati usati per ripetere le prove.

Nel grafico di fig. 3 è riportato il pH dei campioni di acqua prima della deionizzazione (in rosso) e dopo (in verde). In tutti i casi il pH è diminuito.

Prima della deionizzazione tutti i campioni di acqua conducevano bene l'elettricità. Come mostrato in tabella 2, la deionizzazione, eliminando gli ioni, ha ridotto la conduttività a zero. Tutto ciò è bello, ma cosa accade alle caratteristiche del refrattario?

Nel grafico di fig. 4 le proprietà dello stesso tipo di refrattario sono state misurate con gli stessi tipi di acqua, ma dopo deionizzazione. Ricordate che l'asse y rappresenta la differenza rispetto allo standard, che a sua volta è rappresentato dalla linea dello zero. È stato usato lo stesso standard di prima. Per facilitare il confronto dei risultati, sull'asse y è stata conservata la stessa scala di prima. Tutti i tipi di acqua hanno dato praticamente gli stessi valori del tempo di travaso e del tempo di maturazione.

Un esame più preciso dei risultati indica piccolissime deviazioni dallo standard per le miscele ottenute con i campioni di acqua n° 4, 5 e 6. Sono anche state riportate le barre di errore che rappresentano la precisione propria della misura e danno un'idea di quanto in realtà queste variazioni siano piccole. Le piccole variazioni causate dai campioni n° 4, 5 e 6 sono comprese nella variabilità tipica delle prove, per cui possono essere trascurate.

Si deve ricordare che in precedenza tutti i tipi di acqua avevano provocato una variazione del tempo di travaso e del tempo di maturazione rispetto ai valori standard. Con una semplice deionizzazione tutte queste variazioni sono state annullate, e questo vale per tutti i tipi di acqua sperimentati. Ciò fa pensare che, indipendentemente dalle condizioni iniziali, dopo la deionizzazione le caratteristiche del refrattario avranno i valori previsti.

Nella fig. 5 si vede la fluidità in corrispondenza dei vari tipi di acqua dopo deionizzazione. L'allargamento può essere misurato con una precisione di  $\pm 0,16$  cm, come indicato dalle barre di errore. Se si considera la precisione della prova, si vede che le piccole variazioni osservate in realtà sono trascurabili.

Riassumendo, la deionizzazione fa diminuire il pH e la conduttività. La misura della conduttività è una buona indicazione della bontà dell'acqua, che è tanto migliore quanto più bassa è la conduttività. La variabilità del tempo di travaso, del tempo di maturazione e della fluidità è stata ridotta. Ciò significa che il processo di preparazione del refrattario darà risultati più riproducibili e di conseguenza si avranno risultati più riproducibili con i getti, meno preoccupazioni, meno rilavorazioni, meno scarti e minori costi. Al cliente di cui abbiamo parlato prima, che aveva avuto tempi di maturazione maggiori di 24 ore, è stato consigliato di deionizzare la sua acqua ed il tempo di maturazione è tornato ai valori normali.

### Temperatura

La temperatura è un altro fattore che è stato studiato. Quanto la temperatura dell'acqua e della polvere influenza le proprietà del refrattario? Per determinare questo effetto, le proprietà del refrattario sono state misurate più volte, variando solo la temperatura iniziale, cioè la temperatura dell'acqua e quella della polvere refrattaria prima della miscelazione. Tutte le volte sono state usate acqua deionizzata e le procedure di prova standardizzate.

I risultati sono riportati nella fig. 6. Sull'asse delle x è riportata la temperatura iniziale. Sull'asse delle y è riportato il tempo reale, e non la differenza tra i tempi, come nelle figure precedenti. La linea rossa rappresenta l'andamento del tempo di travaso in funzione della temperatura e la linea verde si riferisce al tempo di maturazione.

Nell'intervallo di temperatura mostrato nel grafico, il tempo di travaso cambia di due minuti ed il tempo di maturazione varia di

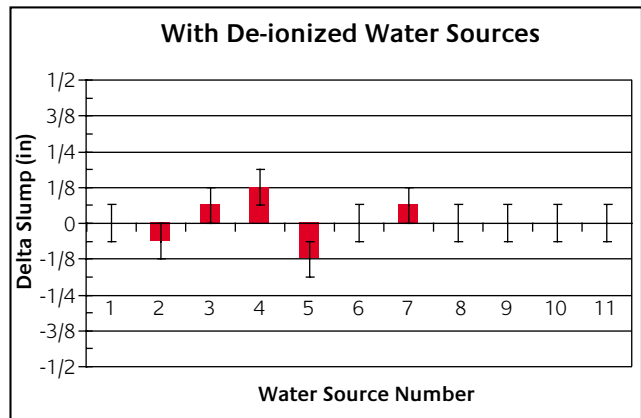


Figura 5 - Effetto del tipo di acqua sulla fluidità, dopo deionizzazione

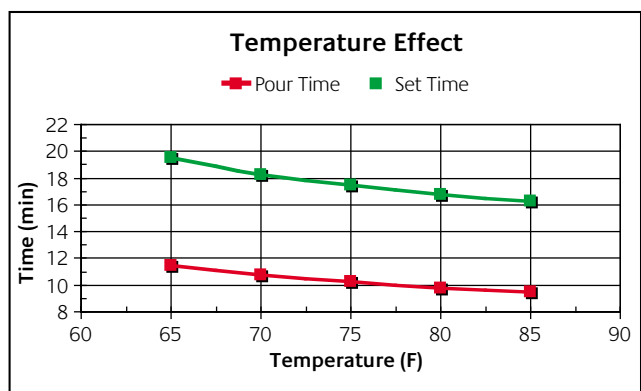


Figura 6 - Effetto della temperatura sul tempo di travaso (rosso) e sul tempo di maturazione (verde)

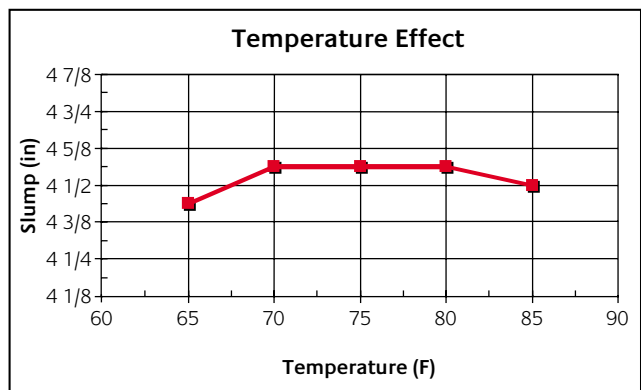


Figura 7 - Effetto della temperatura sulla fluidità (slump test)

poco più di tre minuti. Ciò significa che, se non si controlla la temperatura, ci saranno delle variazioni non controllate del tempo di travaso e del tempo di maturazione.

Questa dipendenza dalla temperatura può permettere ad alcuni operatori di cambiare il tempo di preparazione del refrattario. In certi casi può essere necessario un minuto in più o in altri casi l'operatore può desiderare di accelerare un poco la maturazione. Ciò può essere fatto regolando la temperatura.

Nella fig. 7 si vede la variazione della fluidità in funzione della temperatura. I risultati della prova di assetto sono stati discretamente costanti, anche se si era cambiata la temperatura

iniziale. Se si considera la precisione della prova, le piccole differenze osservate sono trascurabili. Questi risultati sono rassicuranti, poiché, se si cambia la temperatura per modificare un poco il tempo di maturazione, non è necessario preoccuparsi delle difficoltà che si possono creare con una variazione della fluidità.

Riassumendo, aumentando la temperatura il tempo di travaso ed il tempo di maturazione diminuiscono, mentre la fluidità è poco influenzata. Regolando la temperatura si può regolare un poco il tempo di travaso ed il tempo di maturazione. Se non si controlla la temperatura, il tempo di travaso ed il tempo di maturazione varieranno in modo non controllato.

### Rapporto acqua/polvere

L'ultimo fattore studiato è stato il rapporto acqua/polvere. Quanto le proprietà del refrattario e poi la qualità dei getti sono influenzate dalla quantità di acqua usata per la miscelazione con la polvere refrattaria? Prima di rispondere a questa domanda, è importante sapere con esattezza cosa si intende per "rapporto acqua/polvere"

Può darsi che il modo migliore per spiegarlo sia fare un esempio. Un rapporto acqua/polvere comunemente usato nell'industria della gioielleria è 40 ml di acqua per 100 g di polvere di refrattario. Ciò rappresenta semplicemente un rapporto di quanto ingrediente A si debba miscelare con l'ingrediente B. Può nascere confusione, poiché lo si può scrivere in modi differenti, come 40:100, 40/100, 40, 0,40 oppure 28,57% di acqua e tutti questi modi tentano di rappresentare lo stesso rapporto acqua/polvere.

Torniamo a come il rapporto acqua/polvere influenza le proprietà del refrattario. Per avere una risposta, sono state misurate parecchie caratteristiche di refrattari ottenuti con differenti rapporti acqua/polvere. Per osservare eventuali effetti nocivi, con questi refrattari sono anche stati prodotti dei getti. Per le prove è stato usato un refrattario di qualità superiore. Come si vedrà tra breve, questo è un particolare importante. Tutte le prove sono state eseguite tra 22,2°C e 23,3°C usando acqua deionizzata. Tutte le variabili sono state mantenute costanti, tranne il rapporto acqua/polvere che è stato variato da 34 a 46 (cioè da 34/100 a 46/100). Per questo prodotto l'intervallo consigliato è 39-42, per cui alcune delle prove erano fuori dall'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere [8]. Le procedure di prova corrispondevano alle procedure di qualità ISO 9002, da tempo usate presso R&R [7].

I grafici che seguono sono molto simili. Per ognuno di essi in alto è indicata la prova a cui si riferisce ed in basso, sull'asse x, è riportato il rapporto acqua/polvere (W:P). L'intervallo dell'asse x è lo stesso in tutti i grafici, con un riquadro che indica l'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere. Sull'asse y è riportata la proprietà misurata, con la sua unità di misura.

Nella fig. 8 si può vedere che il tempo di travaso è direttamente proporzionale al rapporto acqua/polvere. In realtà il tempo di travaso cambia considerevolmente. Nell'intervallo consigliato (39-42) il tempo di travaso cambia di 1,25 minuti. Ciò permette una leggera flessibilità per l'operatore che ha bisogno di un briciolo di tempo in più per eseguire tutte le fasi del processo. Nel caso in cui questi 1,25 minuti in più non bastino, si potranno considerare altri

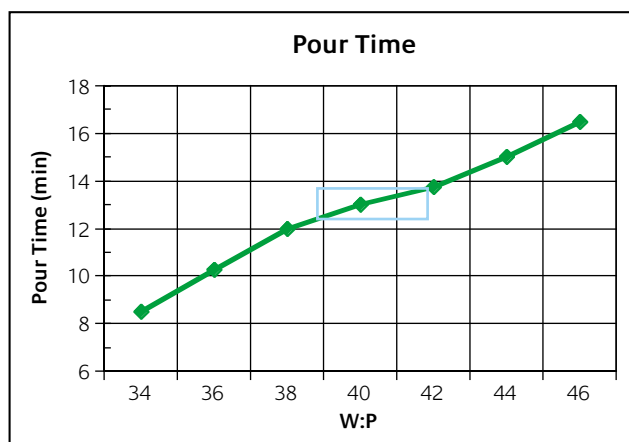


Figura 8 - Effetto del rapporto acqua/polvere sul tempo di travaso

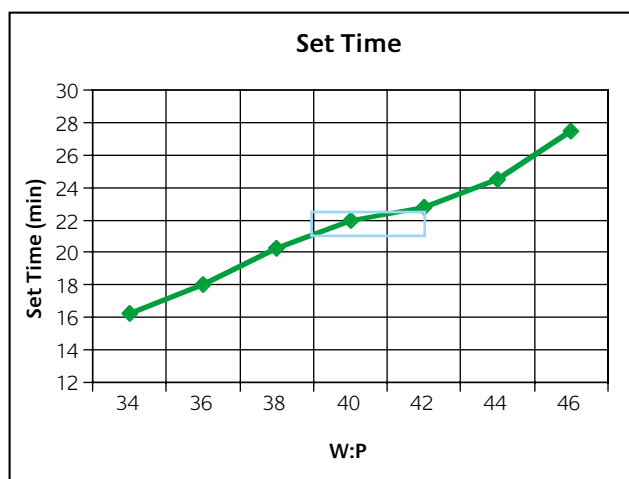


Figura 9 - Effetto del rapporto acqua/polvere sul tempo di maturazione

parametri del processo, piuttosto che avventurarsi fuori dall'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere. Questi altri parametri comprendono il tempo di miscelazione, il tempo sotto vuoto ed il numero di cilindri riempiti per ogni operazione.

Nella fig. 9 si vede l'andamento del tempo di maturazione in funzione del rapporto acqua/polvere. Nell'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere, il tempo di maturazione varia di circa 1,5 minuti. Dopo lo riempimento del cilindro è preferibile avere un indurimento rapido, diversamente aumenta il rischio di avere impronte d'acqua [10]. Per la maggior parte dei refrattari questo problema è serio, anche se per alcuni tipi non si formano impronte d'acqua, indipendentemente dal tempo di maturazione.

Nella fig. 10 è riportato l'andamento della fluidità in funzione del rapporto acqua/polvere. Come previsto, aumentando il rapporto acqua/polvere l'impasto liquido diventa più fluido. L'aspetto più interessante è l'entità della variazione nell'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere. Si potrebbe dire che la fluidità è più influenzata dal rapporto acqua/polvere del tempo di travaso e del tempo di maturazione. Passando dal valore minimo a quello massimo del rapporto acqua/polvere il tempo di travaso è quasi raddoppiato ed il tempo di maturazione, anche senza raddoppiare, è aumentato. Invece nella prova di assetto il diametro del disco è più che raddoppiato, portandone l'area a quasi cinque volte.

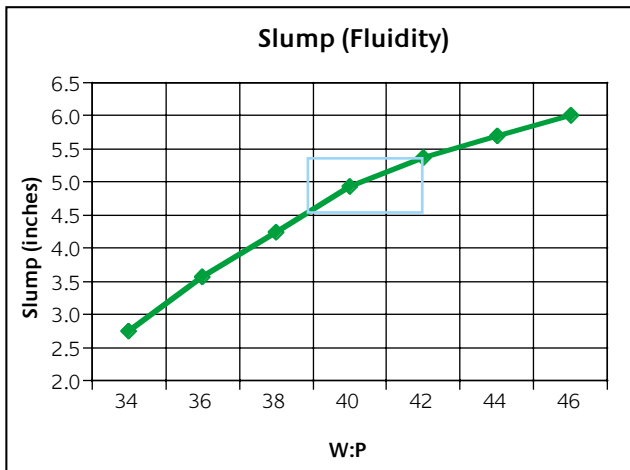


Figura 10 - Effetto del rapporto acqua/polvere sulla fluidità

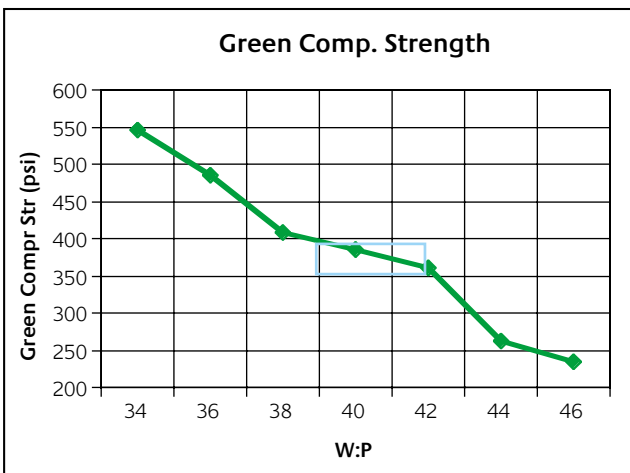


Figura 11 - Effetto del rapporto acqua/polvere sulla resistenza alla compressione allo stato crudo

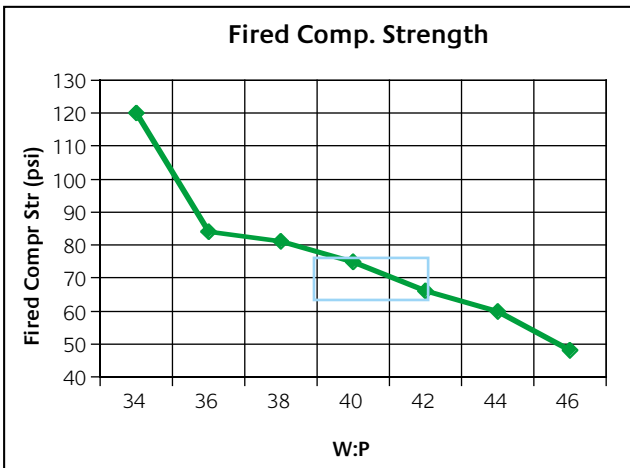


Figura 12 - Effetto del rapporto acqua/polvere sulla resistenza alla compressione dopo cottura

La fluidità potrebbe essere una caratteristica che i più vorrebbero adattare alle proprie esigenze, poiché si pensa che sia necessario un impasto liquido più fluido per ottenere una migliore riproduzione dei dettagli ed un migliore riempimento con il metallo [10, 11]. La fig. 10 dimostra chiaramente che,

aumentando il rapporto acqua/polvere, si può ottenere un impasto più fluido. Rimanendo nell'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere, si può ottenere una variazione della fluidità sufficiente per la maggior parte delle esigenze. Cambiando il rapporto acqua/polvere da 39 a 42, l'area aumenta di 1,37 volte. Se si va fuori dall'intervallo consigliato, i cambiamenti significativi delle altre proprietà possono creare maggiori difficoltà.

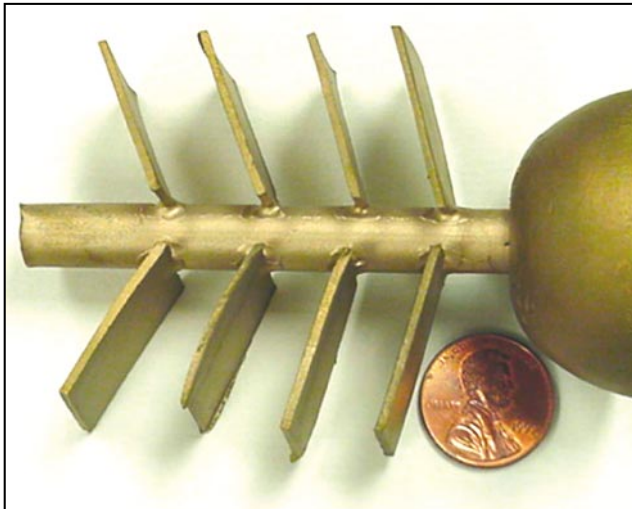
Nella fig. 11 si vede la variazione della resistenza alla compressione del refrattario crudo in funzione del rapporto acqua/polvere. Questa correlazione è di proporzionalità inversa ed al centro vi è un leggero appiattimento della curva. Ciò indica che nell'intervallo consigliato la resistenza alla compressione cambia meno rapidamente, mentre fuori dall'intervallo consigliato la variazione è più rapida. Ciò significa che, pur rimanendo nell'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere, vi è la possibilità di variare un poco la resistenza alla compressione del refrattario crudo. Al di fuori di questo intervallo, la variazione è più forte, la pendenza della curva è più ripida e si possono causare difetti.

L'indebolimento provocato da un alto rapporto acqua/polvere può contribuire alla formazione di crepe o di una superficie rugosa [10, 11]. In un caso che ho realmente osservato, la superficie rugosa compariva su quasi l'80% dei getti ed è bastato ridurre di solo 1 ml/100 g il rapporto acqua/polvere per far scomparire il difetto. Quando ci si trova ai margini dell'intervallo consigliato, può bastare anche solo un piccolo cambiamento del rapporto acqua/polvere per causare difficoltà.

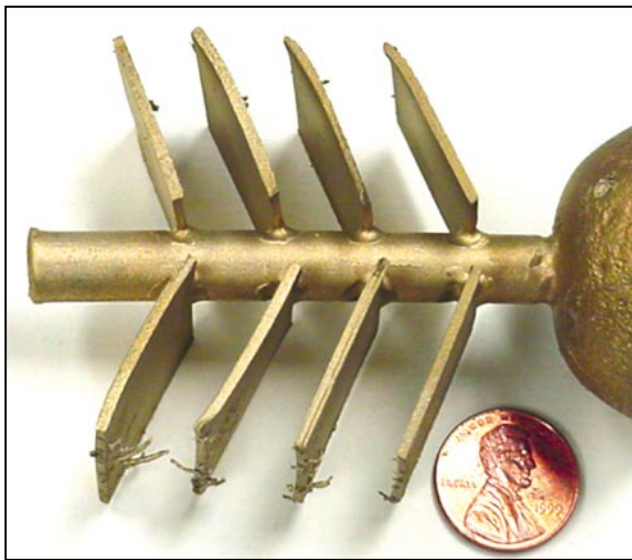
Questa idea è ben rappresentata dal grafico: è come rotolare o cadere giù da un dirupo.

Nella fig. 12 si vede la resistenza a compressione dopo calcinazione in funzione del rapporto acqua/polvere. Questa è una buona indicazione della resistenza dopo il colaggio e di conseguenza della facilità di separazione del getto dallo stampo. Ovviamente questo non è il solo fattore che influenza la rimozione del refrattario, ma vi sono anche fattori che dipendono dalla sua composizione.

Il forte aumento della resistenza per i rapporti acqua/polvere più bassi può rendere difficile la rimozione del refrattario. Come accade per altre caratteristiche, entro l'intervallo consigliato del rapporto acqua/polvere, si può ottenere una certa flessibilità. Il refrattario è stato progettato per essere usato in questo intervallo e, se si esce da esso, si possono incontrare difficoltà.



**Figura 13** - Alberello piccolo e semplice usato per sperimentare la formazione di difetti nei getti



**Figura 14** - Difetti nei getti colati in uno stampo di refrattario di qualità normale (non-premium)

Qui di seguito riportiamo alcune informazioni ottenute effettuando prove di preparazione del refrattario e di colaggio con i vari rapporti acqua/polvere sperimentati. Per i rapporti acqua/polvere più alti, si è osservato che, con le velocità di miscelazione normali, il refrattario potrebbe schizzare fuori dall'apparecchio di miscelazione. Ciò ha creato confusione ed ha

posto il problema se fosse stato ottenuto un buon impasto. Dopo la miscelazione, durante i trattamenti sotto vuoto, l'impasto è risalito molto più in alto del solito: ciò potrebbe causare maggiori problemi di pulizia e perdite di refrattario, a meno che non si usi una fascetta molto alta. Probabilmente i prodotti aggiunti per controllare lo schiumeggiamento erano troppo diluiti dall'acqua in eccesso per poter essere efficaci. Tuttavia i getti prodotti non presentavano impronte d'acqua o bave ed il loro aspetto era buono.

Con i rapporti acqua/polvere più bassi l'impasto refrattario era molto difficile da versare. Il metallo ha riempito completamente lo stampo, non si è avuto intrappolamento di bolle d'aria, lo stampo è stato più difficile da rompere che con rapporti acqua/polvere alti, ma era ancora ottimo e l'aspetto dei getti era buono.

Come mai non si sono avuti difetti? La saggezza convenzionale fa pensare che si sarebbero dovute incontrare difficoltà. Con rapporti acqua/polvere alti avrebbero dovuto formarsi crepe, con conseguente formazione di bave, superficie sabbiosa e impronte d'acqua [10, 11]. Con rapporti acqua/polvere bassi si sarebbe dovuto avere cattivo riempimento, intrappolamento di bolle d'aria, cattiva riproduzione dei dettagli e difficoltà nella rimozione del refrattario [10, 11]. Nulla di tutto ciò è accaduto. Perché?

Ci sono due motivi possibili. Uno è che si è usata una polvere refrattaria di qualità superiore (premium). Probabilmente questo refrattario è molto robusto e può sopportare qualche maltrattamento. La seconda ragione è che si è usato un modello piccolo e molto semplice, che probabilmente non sollecitava abbastanza lo stampo (fig. 13).

Per controllare la validità di questi argomenti relativi all'uso di un refrattario di qualità superiore, preparazione del refrattario e colaggio sono stati ripetuti con un refrattario di tipo normale (non-premium), usando lo stesso semplice modello. È stato osservato quanto segue.

Per alti rapporti acqua/polvere si sono avute forti impronte d'acqua (fig. 14). Per tutti i rapporti acqua/polvere erano presenti bolle d'aria circa nella stessa quantità. Cambiando il processo di preparazione del refrattario, si è avuto un leggero miglioramento, ma il punto è che le difficoltà si sono presentate, come previsto dagli esperti dell'industria e dai produttori di refrattario.

Sembra così che si sia risposto alla domanda di perché non sono stati osservati difetti. C'era qualche relazione con l'uso di un refrattario di qualità superiore. Forse, se i modelli fossero stati più grandi e più difficili, anche il refrattario di qualità superiore avrebbe dato risultati scadenti. Anche se si sono ottenuti buoni risultati con rapporti acqua/polvere fuori dall'intervallo consigliato, non lasciatevi ingannare.

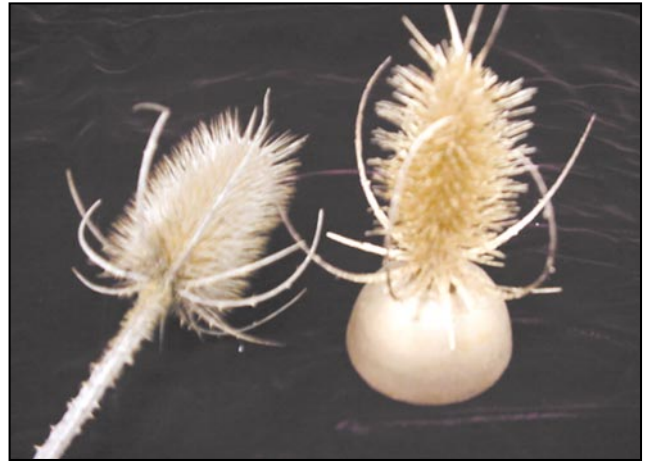
Questi risultati indicano solo che talora è possibile maltrattare alcuni tipi di refrattario senza che si formino difetti, ma non vogliono assolutamente indicare che non si formeranno difetti usando sempre, in qualunque ambiente e con qualunque refrattario, rapporti acqua/polvere fuori dall'intervallo consigliato.

I risultati ottenuti dimostrano che parecchie proprietà del refrattario sono influenzate dal rapporto acqua/polvere. Quando questo aumenta, aumentano anche il tempo di travaso, il tempo di maturazione e la fluidità. Però la resistenza diminuisce.

Restando nell'intervallo consigliato per il rapporto acqua/polvere, il refrattario dispone di una certa flessibilità per



**Figura 15** - Fiore di cardo colato a cera persa



**Figura 16** - Fiore di cardo colato a cera persa confrontato con il fiore reale

modificare queste caratteristiche secondo le necessità dell'operatore. Però se si esce dall'intervallo consigliato, possono formarsi difetti di colaggio, specialmente con i refrattari di qualità non superiore. Perciò è molto importante controllare il rapporto acqua/polvere. Accertatevi che l'intervallo consigliato sia rispettato e misurate con cura le quantità di acqua e di polvere.

### Riassunto

La qualità dell'acqua è un fattore importante, che influenza le proprietà del refrattario, per cui si consiglia di deionizzare l'acqua

prima di usarla. Cambiamenti di temperatura possono modificare la velocità di maturazione e, per ridurre la variabilità, si consiglia di controllare la temperatura. Il rapporto acqua/polvere influenza molte proprietà del refrattario, per cui, di nuovo, è ragionevole usare un rapporto acqua/polvere che stia nell'intervallo consigliato.

Infine, ricordate che il produttore del refrattario ha conoscenze e attrezzature notevoli, per cui vi consigliamo di utilizzare l'assistenza tecnica da lui offerta.

Usando questi principi potrete produrre getti molto complicati,

# A FIRST CLASS INVESTMENT



When you invest in Ransom & Randolph, you invest in something predictable, yet out of the ordinary. You'll soon discover that our Ultra-Vest® jewelry investment is a secure and profitable venture. You'll always get easy quench and easy clean-up. You'll reduce your risk of losing valuable gold. And you'll be assured of R&R's commitment to on going research and testing. Those are the predictable returns with a smart investment in Ultra-Vest.

But with R&R's Ultra-Vest, you also get something extraordinary. Ultra-Vest offers great, compound dividends, like extremely high quality, absolute consistency, and an unerring ability to be process forgiving. Ultra-Vest results in products with smoother surfaces and less finishing. It's the singular choice for all non-ferrous metals. That's an extraordinary return on a simple investment.

Discover how Ultra-Vest and other R&R products can produce a lifetime of quality returns for you. Visit our website at [www.ransom-randolph.com](http://www.ransom-randolph.com). Go to *Jewelry* for a quick survey and a special offer just for you.



3535 Briarfield Boulevard • Maumee, OH 43537 USA

Tel: 419-865-9497 • Fax: 419-865-9997 • E-mail: [customerservice@ransom-randolph.com](mailto:customerservice@ransom-randolph.com)

come quelli mostrati nelle fig. 15 e 16, prodotti da Mike Kelley, specialista tecnico di Ransom & Randolph per la gioielleria.

Ringrazio il World Gold Council che mi ha permesso di condividere con voi le mie riflessioni.

## Bibliografia

- 1 Ralph Carter, "Effetti della qualità dell'acqua e della temperatura sulle polveri di refrattario per il colaggio a cera persa", *Atti del Simposio di Santa Fe 2000*, Met-Chem Research, 2000, p. 1-27. Anche: *Gold Technology*, n° 32, estate 2001, p. 7-18.
- 2 Ralph Carter, "Effetti del cambiamento del rapporto acqua/polvere sui refrattari per gioielleria", *Atti del Simposio di Santa Fe 2001*, Met-Chem Research, 2001, p. 31-47.
- 3 *Ceramic Industry 1999 Materials Handbook*, gennaio 1999, Business News Publishing Co., p. 149-150.
- 4 K.W. Witten, K.D. Gaily, R.E. Davis, *Chimica Generale*, 3<sup>a</sup> ed., Saunders College Publishing, 1988, p. 468-472, 479-480.
- 5 C.W. Fetter, *Idrogeologia Applicata*, 3<sup>a</sup> ed., Macmillan College Publishing Co., Inc., 1994, p. 420-421.
- 6 Ralph W. Phillips, *Skinner's Science of Dental Materials*, 9a ed., W.B. Saunders Co., 1991, p. 70-78 e 393-411.
- 7 Ransom & Randolph, ISO 9002, *Procedure per la Qualità*, serie II.
- 8 "Istruzioni per l'uso del refrattario per gioielleria Ultra-Vest<sup>®</sup>", Ransom & Randolph, luglio 1999.
- 9 Omega, *Manuale su pH e conduttività*, Vol. 29, p. z-22.
- 10 Dieter Ott, "Proprietà dei refrattari e relative prove", *Atti del Simposio di Santa Fe 1988*, Met-Chem Research Inc. 1989, p. 47-62.
- 11 "Ransom & Randolph stabilisce gli standard per la gioielleria in tutto il mondo", Ransom & Randolph, sezione sui difetti di colaggio: possibili cause e sezione su domande e risposte.
- 12 Carl H. Schwartz, "Proprietà chimiche e fisiche dei refrattari", *Atti del Simposio di Santa Fe 1987*, Met-Chem Research, 1988, p. 99-105.
- 13 John A. Dean, "*Lange's Handbook of Chemistry*," McGraw-Hill, Inc., 14a ed. 1992, p. 5-87.
- 14 Donald J. Petersen, Norbert W. Kaleta, Larry W. Kingston, "Enciclopedia della tecnologia chimica", *Kirk-Othmer*, 4<sup>a</sup> ed., vol. 4, p. 813.