



*Proposte innovative dal 40° Meeting internazionale sulla viabilità invernale:  
il salgemma fino ricristallizzato del cloruro di sodio,  
prodotto dominante come fondente stradale*

## VALUTAZIONI SULLE DIVERSE QUALITÀ DEI SALI DA DISGELO

Traffico & Mobilità

Helmut Flachberger\*



I sali da disgelo sono stati impiegati negli ultimi decenni con grande successo per aumentare la sicurezza stradale durante i mesi invernali. Essi, per una lunga serie di motivi, si sono affermati nei confronti delle due categorie di prodotti concorrenziali: i prodotti abrasivi (ghiaie, sabbie, ecc.) e i fondenti chimici (alcol, glicole, urea, ecc.).

Mentre i confronti fra sali da disgelo, prodotti abrasivi e fondenti chimici nonché i relativi vantaggi e svantaggi sono stati studiati approfonditamente e divulgati, sono ancora poco note le differenti e determinanti peculiarità del cloruro di sodio utilizzato quale sale fondente, derivato dai diversi procedimenti produttivi dello stesso. Nella presente relazione il cloruro di sodio (NaCl), in quanto rappresentante più significativo del gruppo dei sali da disgelo, viene sottoposto a un'analisi critica. In particolare, verranno esaminate le differenze fra sale marino, salgemma di cava e salgemma fino ricristallizzato, nonché le relative conseguenze per la viabilità invernale.



Figura 1



Figura 2

### I procedimenti produttivi

Dato che le caratteristiche qualitative del cloruro di sodio come fondente stradale - di seguito dettagliatamente descritte - dipendono essenzialmente dai relativi procedimenti produttivi, si ritiene doveroso occuparsi brevemente di questi tre diversi metodi.

### Il sale marino

Con l'aumento della concentrazione dell'acqua di mare, i minerali di sale non cristallizzano tutti contemporaneamente, bensì in una sequenza ben determinata. Questa caratteristica viene utilizzata per la produzione selettiva, quando l'acqua di mare in salina viene progressivamente aumentata di concentrazione. Prima cristallizzano gli elementi difficilmente solubili (ad esempio la calcite e il gesso), poi il cloruro di sodio e, infine, gli elementi facilmente solubili quali i sali di potassio e di magnesio. L'esatta sequenza del processo di cristallizzazione dipende da un'ampia serie di fattori, il che rende difficile la produzione di un sale con caratteristiche qualitative omogenee per quanto riguarda la dispersità e gli elementi contenuti. Ne consegue che non tutti i prodotti reperibili sul mercato sono idonei a essere impiegati come fondenti stradali.

### Il salgemma di cava

Il salgemma di cava è, di norma, estratto da miniere sotterranee. Per separare i componenti salini dalle rocce che li contengono, il prodotto grezzo viene frantumato meccanicamente e passato ai setacci. In natura esso presenta raramente una purezza tale da poter rinunciare al processo di cernita descritto.

Così, ad esempio, in caso di una grossolana concrenscenza di salgemma con rocce incassanti anidri (gesso asciutto), esse possono venire



separate per mezzo di un processo che si basa sulla diversa densità relativa delle sostanze da separare, separazione che avviene per gravità o per centrifugazione. Si tratta di una tecnica limite che si applica in caso di un'intensa concrenza di salgemma con altri minerali. Per questa ragione la qualità dei prodotti di salgemma dipende molto dalla cava.

## Il salgemma fino ricristallizzato

Il salgemma fine ricristallizzato è ottenuto in stabilimento da soluzioni saline estratte tramite allagamento delle miniere. Qui, in una prima fase, per precipitazione chimica sono separati gli ioni  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , responsabili della durezza, come pure una grande parte degli ioni  $SO_4^{2-}$ ; pertanto la salamoia viene addolcita. In una seconda fase, la soluzione salina depurata da  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  viene portata a evaporazione in appositi bollitori secondo il procedimento di termocompressione o di evaporazione a più stadi, ottenendo così la ricristallizzazione del sale.

Poiché con l'evaporazione anche altri sali secondari aumentano di concentrazione, questo processo è pilotato in maniera tale da espellere gran parte degli stessi assieme ai residui di soluzione salina. Solamente così, attraverso il dispendioso processo di ricristallizzazione (sciogliere - addolcire - evaporare - cristallizzare selettivamente), può essere garantita l'elevata purezza e la costante qualità del sale fino ricristallizzato.

## Il riconoscimento delle caratteristiche distintive

### Generalità

In tutti e tre i procedimenti produttivi, il cloruro di sodio è presente quale componente dominante con una percentuale superiore al 95%. Peraltro, da uno studio più approfondito, emerge una molteplicità di fondamentali possibilità di differenziazione sulle quali vale la pena di soffermarsi. Queste, analizzate dettagliatamente nel seguente paragrafo, sono da ricondurre, da un lato, alla diversa genesi e, dall'altro lato, alle differenze delle metodologie di estrazione e di produzione.

Per poter studiare tali differenze sono state raccolte e osservate le analisi relative alle attuali tipologie di sali fondenti stradali offerti in Austria.

### Le differenze principali fra sale marino, salgemma di cava e salgemma fino ricristallizzato

#### La composizione chimica

E' stata analizzata la composizione chimica di quattro tipologie ciascuno di sale marino, salgemma di cava e salgemma fino ricristallizzato. I salgemma fini ricristallizzati si differenziano visibilmente dalle altre due tipologie di sale per contenuto di cloruro di sodio, percentuale di sostanze insolubili all'acqua e presenza di sali secondari. Nella Tabella 1 si confrontano i valori medi di alcuni parametri significativi (Tabella 1).

Parametri significativi	%	Sale marino	Salgemma di cava	Salgemma fino ricristallizzato
Contenuto NaCl	%	96,62	97,68	99,75
Residuo insolubile	%	0,29	1,20	0,02
$Ca^{2+}$	mg/kg	1.695,40	678,05	44,28
$SO_4^{2-}$	mg/kg	5.943,25	3.523,30	289,68

Tabella 1 - I valori medi dei parametri significativi, relativi a quattro tipi ciascuno di sale marino, salgemma di cava e sale fino ricristallizzato

### Il contenuto di NaCl

I sali fini ricristallizzati presentano generalmente un'estrema purezza e il loro contenuto di NaCl, quale influente parametro di qualità, si attesta su un valore medio del 99,75% (Tabella 1). Ne consegue che, con l'utilizzo di sale fino ricristallizzato quale fondente stradale, sul piano viabile viene distribuita quasi totalmente come sostanza attiva. I prodotti di origine marina o di salgemma di cava non raggiungono tale grado di purezza: il contenuto medio di NaCl nel sale marino è pari al 96,62% e nel salgemma di cava del 97,68% (Tabella 1). In particolare, sul contenuto di NaCl influiscono in maniera negativa la variabilità dei giacimenti e delle condizioni di estrazione (residui insolubili, componenti igroscopici), variabili che possono essere eliminate con il sale fino ricristallizzato.

### I residui insolubili

Nel sale fino ricristallizzato i residui insolubili all'acqua ammontano allo 0,02%, valore praticamente trascurabile, mentre nei sali marini ammontano allo 0,29% e nel salgemma di cava all'1,2%. Per questi ultimi, in modo particolare, l'incidenza dei residui insolubili varia in un ampio spettro che va dallo 0,31% al 3,39%.

Dopo la distribuzione, i residui insolubili rimangono sulla strada e comportano un aumento delle polveri sottili oltre all'"inquinamento" del piano viabile. In Austria, per un impiego annuale di 400.000 t di sale per viabilità invernale della tipologia di cava qui analizzata, sono stati apportati sul piano stradale e nell'ambiente circostante tra 1.240 t e 13.560 t (in media 4.800 t) di impurità e di polveri sottili. Pertanto, con l'utilizzo di sali con elevato contenuto di residui insolubili su asfalti drenanti, vi è senza dubbio un elevato rischio di ostruire i pori degli stessi.

### Il contenuto di sali secondari

Un parametro molto importante nell'impiego dei sali stradali è rappresentato dal contenuto di  $SO_4^{2-}$ , poiché l'acqua contenente solfati deteriora le superfici delle strutture in cemento nel momento in cui, attraverso la trasformazione e la ricomposizione dei minerali (ad esempio l'ettringite), si ha un aumento della matrice del calcestruzzo con la conseguente distruzione delle strutture stesse.

Il contenuto di  $SO_4^{2-}$  nell'acqua di deflusso è correlato al contenuto di  $SO_4^{2-}$  nel sale, al rapporto sale/ghiaccio/neve, come pure alle quantità di fondente distribuito. In una ricerca eseguita dall'austriaco Centro Studi ed Analisi Arsenal, sono state stabilite le concentrazioni di  $SO_4^{2-}$  derivanti dall'impiego di sale fino ricristallizzato (contenuto di  $SO_4^{2-}$  dello 0,038%) e di salgemma di cava (contenuto di  $SO_4^{2-}$  dello 0,263%). I valori limite per la valutazione del grado di aggressione dell'acqua contenete solfati, in Austria sono suddivisi nella ÖNORM B 4710 come si nota in Tabella 2. Dalla Tabella 2 si evince che sotto ai 200 mg/l  $SO_4^{2-}$  non avviene alcuna aggressione chimica da parte dei solfati.

Dato che in Austria, nelle costruzioni stradali, è abitualmente impiegato calcestruzzo di tipologia XA1, il valore della ÖNORM pari a 200-600 mg/l, relativo al debole grado di resistenza all'aggressione chimica, non dovrebbe essere superato. Lo studio di Arsenal ha potuto dimostrare

Tipologia di calcestruzzo	Resistenza all'aggressione chimica	$SO_4^{2-}$ in mg/l
XA1	Debole	200 - 600
XA2	Moderata	600 - 3.000
XA3	Forte	3.000 - 6.000

Tabella 2 - I valori limite per la valutazione del grado di aggressione provocato da acque di deflusso contenenti solfati, secondo ÖNORM B 4710



che, per quanto riguarda il salgemma di cava, il valore limite della norma (quindi 200 mg di  $SO_4^{2-}$ /l), è già superato con la distribuzione delle quantità essenziali a  $-5^\circ C$  (Tabella 3), così da provocare l'aggressione chimica citata. Il salgemma fino ricristallizzato non raggiunge tale valore limite in nessun caso, come si può inequivocabilmente dedurre dalla Tabella 3. Inoltre, è da considerare che il valore per litro d'acqua di deflusso assume un'importanza rilevante, poiché in condizioni di viabilità invernale si vengono a formare soluzioni sature che si raccolgono localmente, e per lunghi periodi, nei punti più bassi dei manufatti in cemento. Le soluzioni sature provocano un'azione danneggiante già con un contenuto di  $SO_4^{2-}$  di circa 600 mg per chilo di sale stradale. L'obbligo della salvaguardia degli investimenti richiede di impedire ogni aggressione chimica alle strutture; è pertanto auspicabile mantenere il contenuto di  $SO_4^{2-}$  sotto alla soglia di 600 mg per chilo di sale fondente.

### La granulometria

In Figura 3 sono riportati i fusi granulometrici dei sali presi in esame. Anche da queste analisi emerge che i salgemma fini ricristallizzati si differenziano chiaramente dalle altre due tipologie di prodotti, per una granulometria omogenea i cui valori limite ricadono in campo ben definito. Nella Tabella 4 sono riportati i valori medi di alcuni parametri significativi. E' chiaramente riscontrabile che il salgemma fino ricristallizzato, indipendentemente dalla provenienza del campione analizzato, si caratterizza per un'elevata omogeneità ed una costante distribuzione della sommatoria dei valori granulometrici. In caso di impiego su asfalti drenanti, i grani sensibilmente più fini del salgemma ricristallizzato svolgono la loro azione fon-

°C sotto allo 0	g di sale per kg di ghiaccio	Salgemma di cava	Salgemma fino ricristallizzato
		mg $SO_4^{2-}$ per l di acqua i deflusso	
1	16	42,1	6,1
5	80	210,4	30,4
10	160	420,8	60,8
15	240	631,2	91,2
20	320	841,6	121,6

Tabella 3 - La rappresentazione delle concentrazioni di  $SO_4^{2-}$  nell'acqua di deflusso

dente non appena penetrato lo strato compatto. Le perdite di salamoia ovviamente non possono essere evitate ma, se comparata a pochi grani grossi di salgemma di cava, l'efficacia dell'azione fondente è notevolmente superiore con una pluralità di piccoli grani di sale fino ricristallizzato.

### Il fuso granulometrico

I fusi granulometrici ristretti, che si possono ottenere nel sale fino ricristallizzato grazie al proprio processo produttivo, comportano il grande vantaggio di evitare la separazione granulometrica dispersiva, tipica dei fusi granulometrici ampi e che avviene inevitabilmente durante le fasi di stoccaggio e di trasporto. Di conseguenza, la regolazione degli automezzi spargitori può essere mantenuta inalterata per lunghi periodi, al fine di garantire una distribuzione sempre costante su strada.

### I limiti granulometrici

I limiti granulometrici superiori del salgemma fino ricristallizzato si attestano a circa 0,8 mm (Tabella 4). Questo limite è tecnicamente determinato dal processo produttivo e non può pertanto essere modificato. Il valore k80 dei sali ricristallizzati (relativo alla misura del setaccio alla quale è passante l'80% del prodotto) risiede omogeneamente in 0,5 mm circa e la presenza di sale con granulometria  $< 0,1$  mm (circa il valore limite inferiore) è pari allo 0,78% e pertanto trascurabile.

Di contro, i sali di origine marina e di cava sono venduti in forma notevolmente più grossolana (il valore medio k80 è di circa il 2,4 mm per il sale marino e addirittura di 3,4 mm circa per il sale di cava) e la distribuzione del fuso granulometrico varia in maniera considerevole da produttore a produttore (Figura 3). Il limite granulometrico superiore varia fra 3 e 6 mm, mentre il limite inferiore non è definito. I limiti granulometrici, grazie al processo di frantumazione e ai vari stadi di setacciatura, possono quasi essere fissati dai produttori. Questo processo postumo di frantumazione, presente nei sali marini o di cava, è sconsigliabile per i Centri di manutenzione stradale: la ragione risiede nell'inevitabile e pericolosa formazione di parti molto fini e polverose, a causa della natura friabile dei cristalli di sale, con conseguente indesiderata dispersione dal vento nonché dai processi di agglomerazione.

### Il dispendio specifico di sale da disgelo

Dai rapporti delle Amministrazioni stradali, emerge che il fabbisogno specifico di salgemma di cava è superiore se confrontato a quello necessario con l'impiego di salgemma fino ricristallizzato. Esso è di circa il 30% superiore per spargimento a secco e di circa il 5-10% superiore per spargimento umidificato in confronto alle quantità necessarie con salgemma fino ricristallizzato. Si considerino, pertanto, anche il maggior dispendio nei trasporti, la necessaria implementazione delle capacità di stoccaggio, come pure la minor autonomia dei mezzi spargitori con conseguente ridotta frequenza dei passaggi su strada.

### La velocità di azione fondente

Il parametro che influenza maggiormente la velocità di azione fondente è la superficie dei grani di sale che, nel caso del salgemma fino ricristallizzato, è inevitabilmente molto più grande rispetto agli altri prodotti di natura sensibilmente più grossolana. In uno studio effettuato dal Centro Studi ed Analisi Arsenal [7], sono state comparate le prestazioni fondenti del salgemma fino ricristallizzato e del salgemma di cava. I risultati sono visibili in Tabella 5. Emerge che la prestazione fondente del sale fino è superiore in ogni condizione.

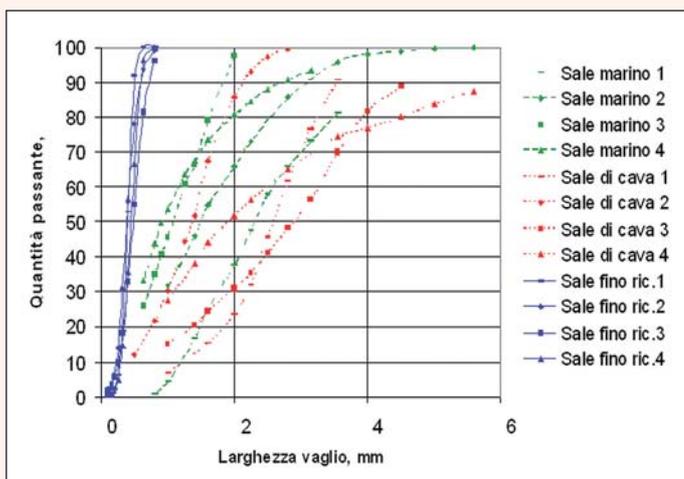


Figura 3 - L'esposizione grafica del fuso granulometrico, relativo a ciascuno dei quattro tipi di sale marino, salgemma di cava e sale fino ricristallizzato

Parametri significativi	Sale marino	Salgemma di cava	Salgemma fino ricristallizzato
Valore $k_{80}$ , mm	2,39	3,38	0,5
$> 1$ mm, %	66,02	79,9	0
$< 0,1$ mm, %	Non defin.	Non defin.	0,78

Tabella 4 - I valori medi dei parametri significativi, relativi a ciascuno dei quattro tipi di sale marino, salgemma di cava e sale fino ricristallizzato



## Elenco dei vantaggi nell'impiego del salgemma fino ricristallizzato quale fondente stradale

Rispetto agli altri prodotti salini - sale marino e salgemma di cava - il sale fino ricristallizzato offre una serie di vantaggi, di seguito nuovamente e sinteticamente suddivisi.

### Il contenuto di NaCl

Il contenuto di sostanza attiva è decisivo, di regola il contenuto di NaCl. I prodotti salini ricristallizzati sono caratterizzati generalmente da una composizione molto pura, dove il contenuto di NaCl si attesta mediamente sul 99,75% e di frequente anche sul 99,9%. Inoltre, i contenuti di NaCl costanti nel tempo assicurano un controllo ottimale dello specifico fabbisogno di sale da disgelo.

Temperatura	- 10°C	- 10°C	- 5°C	- 5°C	- 1°C	- 1°C
Tempo in minuti	Sale fino ricrist.	Sale di cava	Sale fino ricrist.	Sale di cava	Sale fino ricrist.	Sale di cava
5	1,65	1,3	1,98	1,73	2,2	1,93
15	2,85	2,3	2,95	2,7	4,13	3,25
30	3,73	2,83	4,58	4,15	6,45	5,55
60	4,1	3,5	6,33	5,83	9,5	8,58

Tabella 5 - La capacità fondente espressa in g di ghiaccio sciolto per grammi di sale

### I residui insolubili

I residui insolubili rimangono presenti anche dopo la distribuzione su strada e comportano pertanto un aumento di polvere nel traffico, di polveri sottili nell'ambiente e un "inquinamento" della superficie stradale. Solamente il salgemma fino ricristallizzato è praticamente privo di sostanze insolubili. In relazione all'attuale dibattito e alla sensibilizzazione pubblica sulle polveri sottili, tutti i Responsabili dovrebbero porre in atto quanto possibile per conseguire la riduzione delle stesse.

### Il contenuto di $SO_4^{2-}$

Le acque contenenti solfati possono aggredire chimicamente le superfici delle strutture in calcestruzzo. Nel salgemma fino ricristallizzato, il contenuto di  $SO_4^{2-}$  è molto basso grazie alla precipitazione chimica dei componenti  $SO_4^{2-}$ ; ciò comporta un minor deterioramento delle superfici e degli elementi in calcestruzzo e, di conseguenza, un'elevata e maggiore longevità di questi manufatti.

### Il fuso granulometrico

Il salgemma fino ricristallizzato si distingue per una distribuzione nel fuso granulometrico molto omogenea, che si traduce essenzialmente in un'omogenea distribuzione su strada.

### I limiti granulometrici

Il confinamento dei limiti granulometrici in un campo ristretto porta a una riduzione del fabbisogno di sale da disgelo e alla minimizzazione dei costi manutentivi degli automezzi spargitori. La consistente separazione della componente fina previene la formazione di agglomerati e riduce sprechi dovuti alla sua volatilità, sebbene piccole quantità di sostanza fine siano inevitabili in tutte le tipologie di sale (ad esempio gli attriti dovuti a manipolazione).

### Il fabbisogno di sale da disgelo

Con la riduzione del fabbisogno specifico di sale stradale conseguentemente si ottiene una riduzione dei costi.

## La velocità di azione fondente

La superficie reagente per l'attivazione del processo fondente è nettamente superiore nel salgemma fino ricristallizzato rispetto agli altri prodotti, con conseguente maggiore velocità di reazione su strada in presenza di ghiaccio e neve.

## Conclusioni

L'impiego di sali fondenti, in particolare di cloruro di sodio, nell'ambito della viabilità invernale rappresenta un'alternativa politico-economica ed ecologicamente sostenibile per aumentare il grado di sicurezza stradale. Esso è il prodotto dominante in termini quantitativi, il più conveniente quale fondente stradale ed è disponibile per gli utilizzatori in diverse tipologie qualitative, quali sale marino, salgemma di cava e salgemma fino ricristallizzato. Gli studi e le ricerche condotte nell'ambito della presente pubblicazione hanno dimostrato che il salgemma fino ricristallizzato vanta una lunga serie di vantaggi rispetto a entrambe le altre tipologie di prodotti salini.

Questi vantaggi sono: un contenuto di NaCl più elevato, omogeneo e costante nel tempo, con conseguente evidente risparmio nell'uso specifico di sale fondente; a parità di efficacia, una trascurabile presenza di residui insolubili e, pertanto, alcuna produzione di polveri sottili e nessuna ostruzione delle porosità degli asfalti drenanti; una presenza di sali secondari molto bassa, in particolare il minimo contenuto di  $SO_4^{2-}$ , riducendo così il pericolo di aggressione chimica alle strutture in calcestruzzo dovuto ad acqua di deflusso contenente solfati; uno spargimento omogeneo su strada grazie alla costante distribuzione nel fuso granulometrico; nessuna separazione granulometrica dispersiva, evitata dal fuso granulometrico molto ristretto con conseguenti condizioni operative facilitate da un omogeneo riempimento degli automezzi spargitori; nessun rischio di agglomeramento che assicura una distribuzione del sale assente da guasti; una riduzione degli sprechi durante la distribuzione, grazie al confinamento del fuso granulometrico in un campo ristretto; una capacità fondente superiore rispetto ad altri prodotti più grossolani, con conseguente azione su strada più rapida migliori prestazioni fondenti nell'impiego su asfalti drenanti. ■

\* Dottore Ingegnere presso l'Università di Leoben (Austria)

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. Salinen Austria SpA - "Sale da disgelo. Informazioni di marketing", Salinen Austria SpA, 4802 Ebensee, 2001.
- [2]. W. Balasch - "L'impiego dei sali da disgelo e le possibili alternative. Lavoro di ricerca sui trasporti", Volume 14, 1998.
- [3]. B. Ruess - "Spargimento di sale o inerti in viabilità invernale. Lavoro di ricerca di RUS SpA"; CH - 5401 Baden, 1998.
- [4]. W. Balasch - "L'impiego dei Sali da disgelo secondo criteri economici ed ecologici. Edizione speciale"; S. 12, 1988.
- [5]. H. Flachberger - "Produzione di salamoia in miniera con particolare attenzione ai derivanti prodotti secondari in salina"; Tesi, Istituto per la produzione e il raffinamento, Università mineraria Leoben, Austria, 1999.
- [6]. S. Gartiser, R. Reuther, C.O. Gensch - "Studio di fattibilità per la formulazione delle esigenze per un nuovo sigillo ambientale per prodotti da disgelo su strade e vie, in base alla DIN EN ISO 14024. Studio di fattibilità"; Ente Statale per l'Ecologia, 14191 Berlino, 2003.
- [7]. Arsenal - "Analisi e comparazione fra salgemma fino ricristallizzato e salgemma di cava. Rapporto di ricerca"; Centro Austriaco Studi ed Analisi "Arsenal", 1030 - Vienna, 1997.