

$[Ne] 3s^2 3p^2$

Bollettino Tecnico n° 10

INGESSIL S.R.L.

IL SODIO SILICATO AL SERVIZIO DELL'UOMO

**Silicato di sodio e acceleranti acidi
a confronto
nei calcestruzzi proiettati**

INGESSIL S.r.l.

INDUSTRIA SILICATI

Sede : via dei Peschi, 13

37141 Z.A.I., Montorio, Verona

tel.045.8840505 - 045.8840542

fax 045.8840638

e-mail: ingessil@ingessil.com

www.ingessil.com

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag.2
2. PARTE SPERIMENTALE	pag.4
2.1 Raccolta e analisi critica dei dati tossicologici disponibili in letteratura	pag.4
2.2 Comparazione dei prodotti sulla base della classificazione di pericolosità secondo norme vigenti	Pag.5
2.3 Valutazioni comparative in cantiere dell'efficacia come accelerante di presa dei prodotti in esame;	pag.6
a. Sfrido;	
b. Resistenza a compressione a breve	
c. Resistenze a compressione nel lungo periodo;	
2.4 Analisi delle sostanze eluite dai calcestruzzi proiettati	pag.10
2.5 Considerazioni chimiche sulla reazione "alcali-aggregato"	pag.11
3. CONCLUSIONI	pag.13
4. RINGRAZIAMENTI	pag.13

1. INTRODUZIONE

In occasione della “ Giornata di studio” IL CALCESTRUZZO PROIETTATO- IMPIEGO E TECNOLOGIE , svoltasi a Milano l’11 Novembre 1994, alcune relazioni trattavano le tematiche inerenti gli acceleranti di presa per CLS proiettato.

Allora nello spritz beton, era universalmente impiegato il Silicato di Sodio neutro che, da almeno un decennio, aveva consentito il superamento del sistema “ a secco”, con conseguenti consistenti incrementi di produzione, drastiche riduzioni delle polveri in galleria, dimezzamento degli sfridi e notevole abbattimento dei costi.

Oggi due importantissimi fattori che sono stati fondamentali per il successo di questo accelerante, sono paradossalmente la causa della sua contestazione.

- Eccezionali proprietà leganti: E’ noto a tutti come anche CLS di qualità non perfetta, con rapporti A/C sfuggiti al controllo e slump improponibili, riescano ad essere messi in opera con l’utilizzo di Sodio Silicato come accelerante. Questo se da una parte può risolvere qualche problema nell’ambito della impresa esecutrice, dall’altra non piace al progettista ne’ alla committente poiché permette di procedere anche senza rispettare rigorosamente i capitolati..
- Prezzo estremamente conveniente: Il Silicato di Sodio, per l’industria chimica, e’ una “ commodity” ovvero un materiale che viene prodotto in grandissime quantità e venduto a prezzi di mercato tendenti al costo. Pertanto eccedere nelle dosi di utilizzo non penalizza l’impresa che predilige aumentare il dosaggio dell’accelerante, pur di contenere gli sfridi a scapito della qualità del CLS confezionato, disattendendo i requisiti imposti da progettista, committente e controller”. Va’ considerato inoltre che, una “commodity” non può garantire ad una società di servizi, margini idonei a coprirne i costi di distribuzione e gestione del prodotto, come potrebbe invece fare un prodotto più costoso e meno facilmente reperibile.

Già in alcune relazioni presentate durante il convegno del 1994, si alludeva a prodotti alternativi potenzialmente interessanti (fumi di silice, silici colloidali, alluminati, sistemi bicomponenti, cementi ultrafini e a basso tenore di gesso, alkaly-free in polvere, ecc...), ma rivelatisi successivamente non idonei a sostituire il Silicato di Sodio. Inoltre, sempre nell’ambito del suddetto simposio, si accennava alla “ messa al bando” del SS, citando paesi che intendevano passare a prodotti alternativi. Tuttavia a distanza di diversi anni, si rileva che il Silicato di Sodio è ancora l’accelerante di presa più utilizzato nel mondo del tunneling.

Più recentemente sono comparse su diverse fonti, documentazioni tecniche che sostengono che l’uso del silicato di sodio (SS), può essere fonte di inquinamento ambientale attraverso il rilascio di sostanze alcaline nelle acque di percolazione e causa di possibili intasamenti delle canalette di scarico per precipitazione di carbonati poco solubili. Oltre a questo è stato attribuito al silicato l’effetto di ridurre, in misura maggiore rispetto ad altri acceleranti, le resistenze a compressione di lungo periodo (oltre i 28 giorni) e di indurre reazioni cosiddette “alcali-aggregato” con perdita

di coesione del calcestruzzo nel tempo. Infine sono state spese molte parole nel tentativo di descrivere il sodio silicato come tossico per l'uomo e legato peraltro all'insorgere di silicosi negli addetti alle operazioni di pre-rivestimento.

Parallelamente tutti gli acceleranti alternativi al silicato a suo tempo decantati come possibili e validi alternative, sono stati testati e scartati ad eccezione degli alkali-free (AF) (eufemismo per definire un prodotto acido).

Pertanto, al fine di ricavare un quadro il più obiettivo e dettagliato possibile sulle effettive caratteristiche comportamentali ed applicative, ecologiche e tossicologiche sia del SS che degli AF , un gruppo di produttori di Silicato di Sodio ha condotto uno studio comparativo basato sia su sperimentazione di laboratorio e di cantiere, sia su indagini bibliografiche che su principi chimici.

2. PARTE SPERIMENTALE

Nell'ottica di valutare gli aspetti principali delle problematiche in oggetto sono state condotte le seguenti indagini:

1. Raccolta e analisi critica dei dati tossicologici disponibili in letteratura (LD₅₀ e silicosi);
2. Comparazione dei prodotti sulla base della Classificazione di pericolosità secondo normative vigenti;
3. Valutazioni comparative in cantiere dell'efficacia come accelerante di presa di CLS dei prodotti in esame (percentuali di sfrido e resistenza a compressione a breve e nel lungo periodo);
4. Analisi delle sostanze eluite dei CLS di cui al punto 3.;
5. Considerazioni chimiche sulla reazione "alcali-aggregato".

2.1 Raccolta e analisi critica dei dati tossicologici disponibili in letteratura

In accordo con quanto riportato nella documentazione nella documentazione CEFIC (Gruppo di lavoro CEES per il silicato e ASUPA per l'alluminio solfato) sono riportati in tabella 1 i dati relativi alla concentrazione corrispondente alla Dose Letale Orale (LD₅₀ orale ratto) e quelli relativi all'effetto irritante (occhi coniglio), con particolare attenzione agli occhi, notoriamente più sensibili al contatto con agenti chimici.

	Sodio sil.neutro (SS)	Acc.acido (AF)
LD ₅₀ orale su ratto	> 2000 mg/kg	> 2000 mg/kg
Effetto irritante su occhi coniglio	Non irritante	Irritante

Tabella 1. dati tossicologici relativi alle formulazioni tal quale dei due acceleranti

Come si evidenzia sia l'AF che il SS risultano prodotti non tossici a tutti gli effetti.

In aggiunta a ciò si osserva che il SS risulta essere non irritante a differenza dell'AF che risulta essere irritante.

Per quanto riguarda la possibile correlazione tra uso del silicato di sodio e silicosi, sono stati trovati in letteratura autorevoli studi sperimentali, che attestano e dimostrano che non esiste alcun legame tra esposizione a silicati amorfi (come quelli che possono derivare dalle soluzioni di sodio silicato per SB) e silicosi, poiché l'insorgere della malattia è causato solo da inalazione di polvere di silice cristallina (es. polvere di quarzo). Tra i vari studi trovati, citiamo: JG Vail, ACS 1952, v1 2° pag. 596; Falcon, ACS 1982 pag. 49; Bergna, The colloid Chemistry of Silica, ACS 1994 pag. 501-2 e pag. 601.

Ne deriva che non è in alcun modo sostenibile un qualunque effetto negativo del silicato di sodio neutro sulla salute.

2.2 Comparazione dei prodotti sulla base della Classificazione di pericolosità secondo normative vigenti

ETICHETTATURA PER MOVIMENTAZIONE e STOCCAGGIO

Secondo la classificazione CEE delle sostanze pericolose (dir 91/155) il sodio silicato neutro è non classificato, mentre l'accelerante acido è classificato Xi (irritante) con frase di rischio R41, rischio di gravi lesioni oculari e quindi composto pericoloso.

TRASPORTO

Secondo le norme UN ADR, IMO e IATA, il silicato di sodio neutro è non classificato, cioè esente da limitazioni sul trasporto, mentre l'accelerante acido è classificato ADR classe 8 – cifra 17c materia corrosiva.

Il trasporto dell'AF richiede pertanto l'esclusivo utilizzo di mezzi autorizzati al trasporto di sostanze corrosive ed appositamente attrezzati (in acciaio inox AISI 316 o ebanitate o in materiale plastico). Per il SS non sussiste alcuna limitazione.

	Sodio sil.neutro (SS)	Acc.acido (AF)
Movim. e stoccaggio	Non etichettato	Xi - irritante
Trasporto	Nessuna limitazione	corrosivo

Tabella 2. classificazione al trasporto ed allo stoccaggio dei due acceleranti

Tale differenza è facilmente spiegabile dalle caratteristiche chimico-fisiche dei due prodotti, infatti mentre il SS ha un pH debolmente basico, l'AF è decisamente acido (pH <<3).

La forte acidità dell'AF impone inoltre particolari precauzioni nella sua movimentazione per evitare il contatto con materiali facilmente corrodibili ad esempio il ferro comunemente presente nei cantieri. Va inoltre sottolineato come la accidentale presenza di AF non reagito in calcestruzzi armati o carichi con fibre metalliche, possa provocare pericolosi ed imprevedibili fenomeni di corrosione. Lo stesso discorso vale anche per reti e centine, comunemente impiegate nel priverivestimento.

Il potere corrosivo dell'accelerante acido e quello anticorrosivo del sodio silicato neutro sono facilmente dimostrabili con un esperimento di semplice esecuzione: l'immersione di un chiodo di ferro nella soluzione di AF provoca un immediato sviluppo di bollicine sulla superficie del chiodo, dovute alla formazione di idrogeno conseguente all'attacco superficiale del ferro. L'analoga esperienza condotta immergendo il chiodo in acqua mostra una corrosione molto più lenta. Infine l'immersione dello stesso chiodo in sodio silicato non solo non produce alcun effetto corrosivo, ma esercita un'azione protettiva mantenendo la superficie metallica inalterata nel tempo. A conferma di ciò il SS è impiegato comunemente nelle acqua potabili, in concentrazioni molto basse, come passivante delle tubazioni metalliche, contro la ruggine.

Sotto questo profilo risulta pertanto che il sodio silicato neutro è un prodotto non pericoloso e sicuro sotto ogni aspetto, l'accelerante acido al contrario richiede una serie di precauzioni e può presentare dei rischi.

SMALTIMENTO

Residui di lavorazione e liquidi di lavaggio contaminati da AF, contengono notevoli quantità di alluminio e pertanto il loro smaltimento comporta particolari precauzioni che si traducono in maggiori costi poiché le normative vigenti impongono limiti molto stretti per tale elemento (Al < 1 mg/litro).

I liquidi contaminati da silicato, invece, non richiedono speciali attenzioni perché non contengono sostanze considerate pericolose.

2.3 Valutazione comparative in cantiere dell'efficacia come accelerante di presa dei prodotti in esame

Con l'obiettivo di acquisire elementi sul comportamento degli acceleranti di presa in condizioni reali, è stata organizzata una sessione di prove di confezionamento di calcestruzzi proiettati mediante il processo per via umida. Per l'esecuzione delle prove è stato scelto il cantiere di Monguelfo (Bolzano) dove la Società Italiana per Condotte d'Acqua sta conducendo i lavori di escavazione di una galleria, poiché nel suddetto cantiere erano già disponibili i due tipi di acceleranti da valutare (il silicato di sodio era previsto esclusivamente per le operazioni di tamponamento del fronte) e le specifiche produttive erano particolarmente vincolanti; oltre a questo, gli operatori del cantiere hanno mostrato la disponibilità, la competenza e la conoscenza della problematica necessarie per un corretto e proficuo svolgimento delle valutazioni.

E' necessario sottolineare che per tutte le prove eseguite, sono state adottate materiali, condizioni e modalità di lavoro standard, senza modificare le normali procedure in essere al cantiere in quel momento, per assicurare ai risultati una valenza generale e concreta.

Per il confezionamento del calcestruzzo (CLS) sono stati utilizzati cementi Superbeton – CEM II/A-L-32,5 R additivati con reattivo superfluidificante 1% Rheobuild 5000 della MBT con un rapporto acqua/cemento 0.55 circa; si sono impiegati inoltre inerti costituiti da una miscela con pezzatura 0-8 mm (0-4 70%; 4-8 27% ; 8-12 3%); il cemento è stato dosato in quantità pari a 450 kg/m³.

In corrispondenza dell'ugello della pistola spruzzatrice sono stati aggiunti, di volta in volta, i due additivi acceleranti di presa da valutare:

1. soluzione commerciale di Sodio silicato neutro $r = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 3.3 - 3.4$, con un contenuto di solido minimo del 35%, e densità pari a 38-40 Bè;
2. accelerante acido a base di alluminio solfato, soluzione commerciale contenente 9.8 % Al_2O_3 e tenore di solfati pari a 28%, con pH pari a 2.7 e densità di 1.4 kg/litro.

Gli acceleranti sono stati impiegati ai seguenti dosaggi riferiti al peso del cemento

12% per il sodio silicato neutro

10% per l'accelerante acido.

Per ogni prova è stato spruzzato l'intero carico di una betoniera , pari a circa 8 m3 di calcestruzzo.

Le caratteristiche dei calcestruzzi proiettati così ottenuti, sono state valutate attraverso i seguenti parametri:

- a. percentuale di sfrido;
- b. resistenza a compressione a breve;
- c. resistenze a compressione nel lungo periodo.

a. Percentuale di sfrido

L'applicazione a spruzzo sulle pareti in roccia della galleria ha evidenziato mediamente uno sfrido (sfrido + splaccamenti) nettamente inferiore nel caso del calcestruzzo additivato con sodio silicato; più precisamente espresso dai seguenti valori:

10% per il sodio silicato neutro

13% per l'accelerante acido

Pertanto, quanto osservato nel corso dell'esecuzione della prova, non ha fatto altro che confermare quanto universalmente noto agli operatori del settore, e cioè che l'utilizzo di sodio silicato come accelerante facilita l'esecuzione dello SB, anche in condizioni particolarmente difficili (retro centina, retro rete, fuori sagoma, volta, venute d'acqua, ecc.) e consente l'applicazione di strati consistenti per ciascuna passata, permettendo così di minimizzare l'effetto di disomogeneità nel calcestruzzo. Inoltre la plasticità propria del CLS accelerato con sodio silicato, consente un'accurata "spalmatura" anche sui supporti più difficili, evitando il rischio di vuoti tra lo strato di SB e l'intradosso.

La diretta conseguenza di quanto osservato è che l'accelerante sodio silicato neutro consente un più celere avanzamento dei lavori.

Va inoltre considerato che lo sfrido da SB con sodio silicato neutro, può essere facilmente smaltito, mentre per quello da accelerante acido, a causa dell'elevato contenuto di alluminio solubile che lo rende potenzialmente tossico (cfr. paragrafo 2.5) , si possono presentare problemi rilevanti.

b. Resistenza a compressione a breve (fino a 12 ore)

La valutazione della resistenza a compressione nel breve periodo è stata effettuata utilizzando penetrometro di Proctor UNI 7123 (fino a 60 min) e pistola Hilti (fino a 12 ore).

Le misure sono state condotte su provini realizzati durante le operazioni di SB in accordo con le norme UNI 6131 E UNI 6132

I risultati sono raccolti in tabella 3 e nel grafico 1.

	tempo (min)					
	6	15	30	60	360	720
J2	0,2	0,3	0,4	0,5	1,3	2,5
J3	0,5	0,7	1	1,7	5	8
Acc. Acido	0,15	0,25	0,42	0,6	2,5	5
Sodio sil neutro	0,42	0,70	0,90		4,1	6,6

Tabella 3. Dati di resistenza a compressione nel breve periodo, relativi alle norme J2, J3 ed al CLS accelerato con i due prodotti in esame

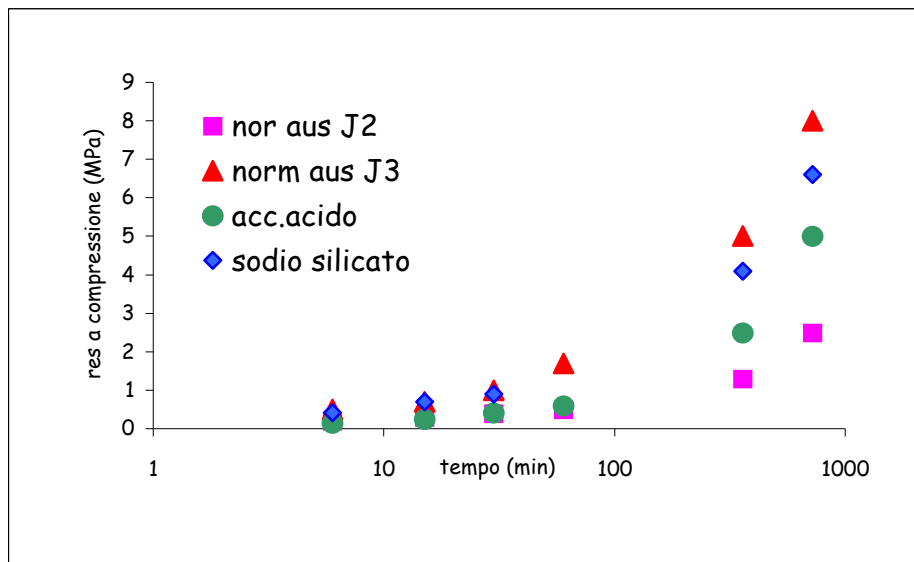


Grafico 1. Dati di resistenza a compressione nel breve periodo, relativi alle norme J2, J3 ed al CLS accelerato con i due prodotti in esame

Nel grafico per un facile confronto, sono riportate anche le curve relative alle J2 e J3. Come mostrano i valori raccolti, il calcestruzzo accelerato con il silicato sviluppa una presa nettamente più rapida del calcestruzzo contenente l'accelerante acido, e molto prossima alla J3, che rappresenta il modello ottimale.

E' importante rilevare che, in terreni di scavo che portano ad una sovrasollecitazione elastoplastica dell'esterno della cavità di avanzamento, per limitare la progressiva diffusione del fenomeno all'interno dell'ammasso ed al fine di "tamponare" il disturbo prodotto dallo scavo nel terreno, è necessario contenere, con struttura immediatamente resistente, le deformazioni del profilo di scavo.

Pertanto i dati sperimentali confermano, anche sotto il profilo scientifico, quanto osservato nella pratica e già posto in evidenza al punto a., e cioè che il silicato, grazie alla sua elevata capacità accelerante, conferisce al manufatto una migliore solidità nel breve periodo, rispetto all'accelerante acido, permettendo di operare in condizioni di maggior sicurezza e velocità.

C. Resistenze a compressione nel lungo periodo (fino a 28 giorni)

La valutazione della resistenza a compressione nel lungo periodo è stata effettuata mediante prove di rottura di provini cilindrici.

Poiché l'obiettivo primario del lavoro descritto è stato di raccogliere dati significativi, riproducibili e di valenza riconosciuta, per la realizzazione dei provini e l'esecuzione delle misure ci si è avvalsi della collaborazione del personale del Laboratorio Prove dei Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, che ha seguito la realizzazione dello SB in galleria, visionato il corretto riempimento dei casseri e provveduto alla successiva stagionatura e determinazione del carico di rottura.

I casseri costruiti in acciaio e di dimensioni 60x60X10 cm secondo le normative UNI, sono stati appoggiati, durante la realizzazione dello SB, sul piedritto del fronte di avanzamento con un angolo di 20° e riempiti, dallo stesso lancista, con i calcestruzzi accelerati.

Sono stati confezionati 2 casseri per ognuno dei 2 due acceleranti e sono quindi stati lasciati stagionare per 24 ore in galleria senza essere movimentati. Dopo questo periodo di invecchiamento in loco previsto dalle normative, i casseri sono stati trasportati, degli stessi operatori del Politecnico, al Dipartimento di Ingegneria Strutturale e posti in una sala a temperatura ed umidità controllata in accordo con quanto richiesto dal protocollo. I provini su cui è stata valutata la resistenza a compressione, sono stati ottenuti attraverso un'operazione di carotaggio sui casseri. Le prove di rottura delle carote del diametro di 10 cm e altezza 10 cm, sono state realizzate a 2, 7 e 28 giorni di invecchiamento; ogni dato ricavato secondo la UNI 10834 è la media di tre misure; in grafico 2 sono diagrammati i dati raccolti.

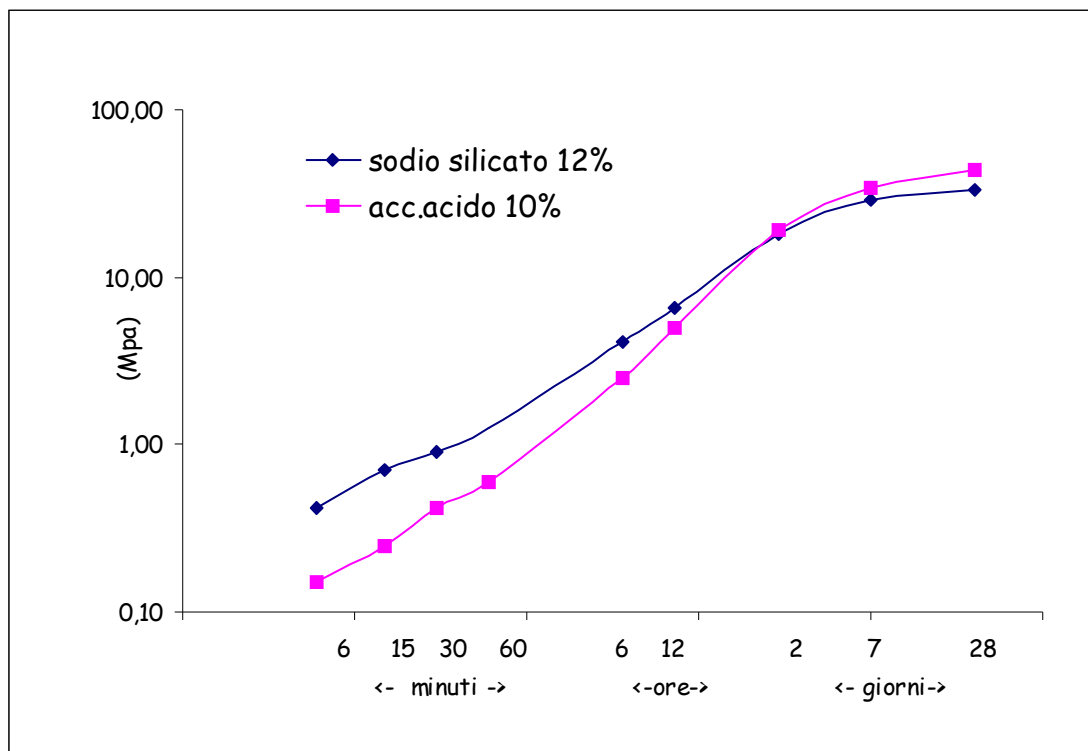


Grafico 2. Resistenza a compressione nel lungo periodo, relativa a CLS accelerato con i due prodotti in esame.

I valori di resistenza a compressione ottenuti dal secondo al ventottesimo giorno mostrano che non ci sono drammatiche differenze tra calcestruzzo accelerato con il prodotto acido e quello accelerato con silicato. Pur rilevando che nel lungo periodo i valori relativi all'accelerante acido sono superiori a quelli del sodio silicato, va sottolineato che in ogni caso anche il silicato consente di raggiungere le resistenze alla compressione che soddisfano a pieno i requisiti imposti dalle normative UNI 10834. Infatti a 28 giorni la differenza tra la resistenza del calcestruzzo non accelerato e quella del calcestruzzo accelerato con silicato è inferiore al 25%. Ulteriori miglioramenti nelle prestazioni del silicato di sodio neutro sono poi facilmente ottenibili con CLS con rapporto acqua/cemento vicini allo 0.5 (oggi facilmente raggiungibili con l'impiego di superfluidificanti di nuova generazione, peraltro indispensabili per l'impiego di acceleranti acidi).

E' evidente che, i risultati di cui sopra potrebbero essere riproducibili con sicurezza, qualora il sistema di dosaggio delle pompe consentisse precisione e costanza nell'erogazione della idonea quantità di accelerante. Un sistema per impedire dosaggi superiori ai valori corretti, permetterebbe di raggiungere risultati ottimali.

2.4 Analisi delle sostanze eluite dai calcestruzzi di cui al 2.3

Dai casseri confezionati in galleria come descritto al punto 2.2, sono stati ricavati a 28 giorni di invecchiamento dei provini cilindrici su cui eseguire le prove di eluizione. In accordo con quanto descritto nella Guideline Austriache (marzo 1999), i provini, di diametro pari a 50 mm e altezza pari a 100 mm, sono stati immersi in una massa di acqua distillata pari a 10 volte la massa della carota, per 24 ore sotto agitazione (200-300 rpm) e a temperatura ambiente.

Sugli eluati sono stati determinati i parametri riportati nella tabella 4.

Parametro	Unità	Limiti*	Acc.acido	Sodio Sil.neutro
pH		<12	10.47	11.52
Conducibilità	µS/cm	<1000	206	566
Calcio	mg/l	<25	3.8	1.5
Potassio	mg/l	<25	29	23
Sodio	mg/l	<10	14	70
Alluminio	mg/l	<1	3.7	0.7
Cloruri	mg/l	---	1.2	0.5
Solfati	mg/l	---	15	21

Tabella 4. dati analitici dell'eluato proveniente da CLS contenente i due diversi acceleranti

* Valori limite superiore imposti dalle Guideline Austriache.

Come mostrano i dati in tabella esistono rilevanti differenze tra gli eluati dei due calcestruzzi:

- pH: corrispondentemente alle attese, l'eluato da silicato neutro mostra un pH maggiore pur tuttavia si mantiene ad un valore abbondantemente inferiore al limite posto dalle Guideline e quindi non costituisce motivo di critica. L'accelerante acido, al contrario, mostra un pH che si avvicina pericolosamente al limite consigliato (pH 10) per contenere i fenomeni corrosivi. Infatti in letteratura, si trova citato che, con riferimento alla corrosione del ferro nei CLS armati, a valori di pH inferiori a 10, lo strato di ossido passivante il ferro non è più stabile e in ambiente umido la corrosione procede velocemente.
- conducibilità: entrambi gli eluati rientrano nei limiti imposti.
- calcio: si osserva che i valori da silicato neutro sono decisamente inferiori a quelle da accelerante acido, ciò è perfettamente coerente con i noti meccanismi d'azione dei due prodotti; il silicato infatti reagisce con il calcio presente nell'impasto cementizio, originando un composto insolubile e quindi riducendo la quantità di ione calcio disponibile (da qui deriva la sua azione accelerante e di consolidamento). L'accelerante acido invece, non solo è incapace di fissare ioni calcio presenti in soluzione, ma addirittura, per le sue caratteristiche acide, favorisce il rilascio di quelli legati in composti insolubili. Pertanto, da questo punto di vista, il silicato non contribuisce alla formazione di depositi calcarei.
- Potassio: entrambi gli eluati mostrano valori nell'intorno del limite, anche se solo il silicato rimane al di sotto mentre l'accelerante acido lo supera leggermente.
- Sodio: entrambi gli eluati danno valori superiori al limite richiesto. Come prevedibile nel caso del silicato il tenore di sodio è nettamente maggiore, tuttavia ciò non appare in alcun modo correlabile all'alcalinità dovuta invece soltanto alla concentrazione degli OH⁻ che derivano per la gran parte dal cemento;
- Alluminio: come facilmente prevedibile l'accelerante acido (soluzione di solfato di alluminio) conferisce all'eluato un tenore di alluminio decisamente più elevato rispetto al caso del sodio silicato. Va inoltre evidenziato che l'accelerante acido porta ad un drastico superamento del limite massimo (1 mg/litro) imposto dalla legge sulle acque di scarico. Tenuto conto che l'alluminio è considerato essere un metallo tossico (H. Bergna, ACS pag. 604-607) questo risultato appare allarmante sia per l'inquinamento delle acque di dilavamento sia per le difficoltà di smaltimento dello smaltimento contenente lo sfido da accelerante acido;
- Cloruri e solfati: gli anioni nei due eluati non mostrano differenze significative.

2.5 Considerazioni chimiche sulla reazione “alcali-aggregato”

Come noto la reazione alcali-aggregato rappresenta forse uno dei fattori più gravi di deterioramento del calcestruzzo proiettato. Infatti, alcuni tipi di aggregati, per esempio silicei (opale, quarzo, ecc), sono in grado di reagire con alcali provocando fenomeni superficiali che inducono rigonfiamenti e fessurazioni.

Secondo alcuni questo fenomeno è attribuibile alla presenza di ioni alcalini tipo sodio e potassio, e contestano l'uso del silicato come accelerante in quanto possibile fonte aggiuntiva di questi ioni.

Questo principio è tuttavia in netto contrasto sia con basilari principi della chimica, secondo cui l'alcalinità non è dovuta agli ioni alcalini di per se ma agli ioni ossidrile (basti pensare che il cloruro di sodio è un composto completamente neutro), sia a quanto sostenuto anche da Vivian (J.Appl.Sci.,2, 108 -1951) secondo il quale l'attacco degli aggregati avviene ad opera degli OH-, come dimostrato da malte contenenti cementi poveri di alcali ma addizionati con opale e idrossidi organici.

Come già citato nell'analisi degli eluati, l'alcalinità di un calcestruzzo deriva essenzialmente dai componenti del cemento (per esempio idrossido di calcio) e l'aggiunta di sodio silicato non ne aumenta il valore. Tale affermazione è facilmente sostenibile sia su basi teoriche, osservando i valori di pH (12.6 per una soluzione satura di calcio idrossido, 11.4 per la soluzione di sodio silicato neutro) sia praticamente, conducendo un semplice esperimento: preparando una boiaccia con Portland 325 e rapporto acqua/cemento 0.5, e una analoga additivata con sodio silicato in ragione del 12% sul cemento ed andando ad analizzare l'eluato delle due boiacche indurite, dopo 30 giorni di stagionatura, i valori trovati mostrano che il sodio silicato non innalza minimamente il pH, unico e vero indice dell'alcalinità (12.40 per la prima boiaccia e 12.34 per la boiaccia additivata con sodio silicato neutro).

Come conseguenza di quanto sopra descritto, appare assolutamente ingiustificata qualunque correlazione tra utilizzo del sodio silicato ed alcalinità del calcestruzzo, causa unica del verificarsi della reazione "alcali-aggregato".

L'alcalinità del silicato non ha quindi effetto sugli inconvenienti imputabili all'alcalinità totale, e risulta pertanto incomprensibile l'esigenza di acceleranti alternativi definiti alcali-free.

3. CONCLUSIONI

Le indagini condotte portano pertanto a concludere che le critiche mosse al silicato neutro non trovano riscontro sperimentale e non giustificano lo sviluppo di prodotti alternativi come i cosiddetti alkali-free.

Infatti, per quanto concerne l'aspetto di tossicità e sicurezza, si è riscontrato che il silicato neutro è un prodotto non tossico per l'uomo e inerte nei confronti dell'ambiente e talmente sicuro nell'utilizzo da non richiedere alcuna etichettatura (prodotto non classificato). L'accelerante acido al contrario è classificato corrosivo per il trasporto è quindi un prodotto pericoloso che richiede particolari precauzioni nella movimentazione e nello stoccaggio in cantiere e nelle eventuali operazioni di smaltimento .

Relativamente all'efficacia accelerante si è avuta conferma da prove condotte in galleria, che il sodio silicato neutro è un ottimo accelerante di presa in quanto consente di operare con minore sfrido, maggiori spessori e più elevata velocità di avanzamento, mostrando una maggiore resistenza a compressione del calcestruzzo giovane (fino a 24 ore), rispetto all'accelerante acido preso a riferimento. Anche per quanto riguarda le resistenze sul calcestruzzo invecchiato (fino a 28 giorni), il sodio silicato neutro ha fornito soddisfacenti prestazioni rispettando le richieste delle più severe norme di settore, anche se di poco inferiori a quelle dell'AF.

L'analisi degli eluati non ha confermato in alcun modo il potenziale inquinante del silicato; soprattutto l'alcalinità (pH) è risultata inferiore al limite imposto dalle Guideline austriache del marzo 1999, e peraltro tale da sfavorire fenomeni di corrosione. A carico dell'accelerante acido è stato invece riscontrato un valore di pH al limite minimo richiesto e il pericoloso superamento della soglia di alluminio consentita sia dalla stessa Guideline che dalla legge sulle acque reflue.

Infine per quanto concerne il pericolo di perdita di coesione per reazione "alcali-aggregato", sia la chimica che l'evidenza sperimentale escludono ogni responsabilità del silicato su tali inconvenienti.

Si ringraziano per la gentile e costruttiva collaborazione la direzione lavori: ing. Gretzer e ing. Bisoffi, il personale della SOCIETA' ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA operativo presso il cantiere di Monguelfo, ed in particolare il geom. Pugliano, l'ing. Negro e il Geom. Di Rienzo; il Politecnico di Milano, ed in particolare il prof Rosati ed il sig. Cocco;

¹ Ausimont SpA, Viale Lombardia 20, Bollate (MI)

² Baslini, P.le Baslini 1, Treviglio (BG)

³ Ingegil, Via dei Peschi 13, Montorio veronese (VR)

⁴ Torggler, Via Prati Nuovi 9, Merano (BZ)