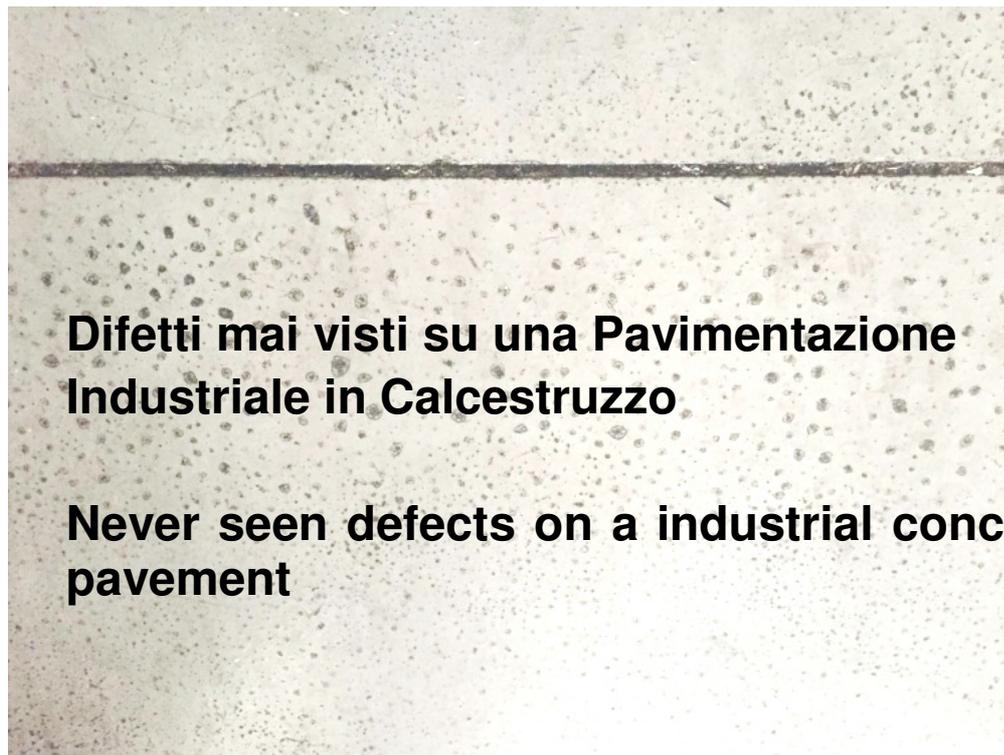




La Clinica del Calcestruzzo

Prof. Dr. Vito ALUNNO ROSSETTI
Dott. Ing. Antonella FERRARO



Difetti mai visti su una Pavimentazione Industriale in Calcestruzzo

Never seen defects on a industrial concrete pavement

Dicembre 2015

PROF. V. ALUNNO ROSSETTI - ING. A. FERRARO

**DIFETTI MAI VISTI SU UNA PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE
IN CALCESTRUZZO**

INDICE

1.	PREMESSA.....	1
1.1	COSTRUZIONE E NASCITA DELLE PROBLEMATICHE	1
1.2	ASPETTO DEL PAVIMENTO DANNEGGIATO	2
2.	OSSERVAZIONI AL MICROSCOPIO OTTICO	2
3.	OSSERVAZIONI SEM CON MICROSONDA	5
3.1	ASPETTO DEI GRANULI.....	5
3.2	COMPOSIZIONE CHIMICA DELLE SFERULE	6
3.3	POSSIBILE NATURA DELLE SFERULE.....	6
4.	CONCLUSIONI.....	8

Roma, 22 Dicembre 2015

Relazione tecnica

Difetti mai visti¹ su una Pavimentazione Industriale in Calcestruzzo

1. Premessa

Nella presente relazione tecnica vengono presentate le problematiche riscontrate su una pavimentazione in Calcestruzzo di un capannone industriale adibito ad officina meccanica ed inoltre i risultati di alcune prove eseguite per la caratterizzazione dei difetti e per il riconoscimento della loro origine

1.1 Costruzione e nascita delle problematiche

- In data 07-08/05/2015 è stato effettuato il getto del calcestruzzo della pavimentazione dello spessore di cm 20 con doppia rete elettrosaldata ϕ 8 mm - 20x20 cemento, con spolvero a base quarzo.
- In data 22-23/07/2015 è stato effettuato un trattamento antiolio: prevista l'applicazione di 0,1 kg/m² in due passate, pari a circa 100 cm³/m² = 100 cm³/10000 cm². A questa quantità corrisponde uno spessore di 100/10000 cm, pari a 1/100 di cm ovvero 0,1 mm. Considerato un assorbimento da parte della porosità della malta superficiale, lo spessore di film antiolio è probabilmente sull'ordine di 50 micrometri.
- Intorno alla metà di settembre 2015 si è manifestato il problema che si può vedere da alcune foto allegate di seguito .

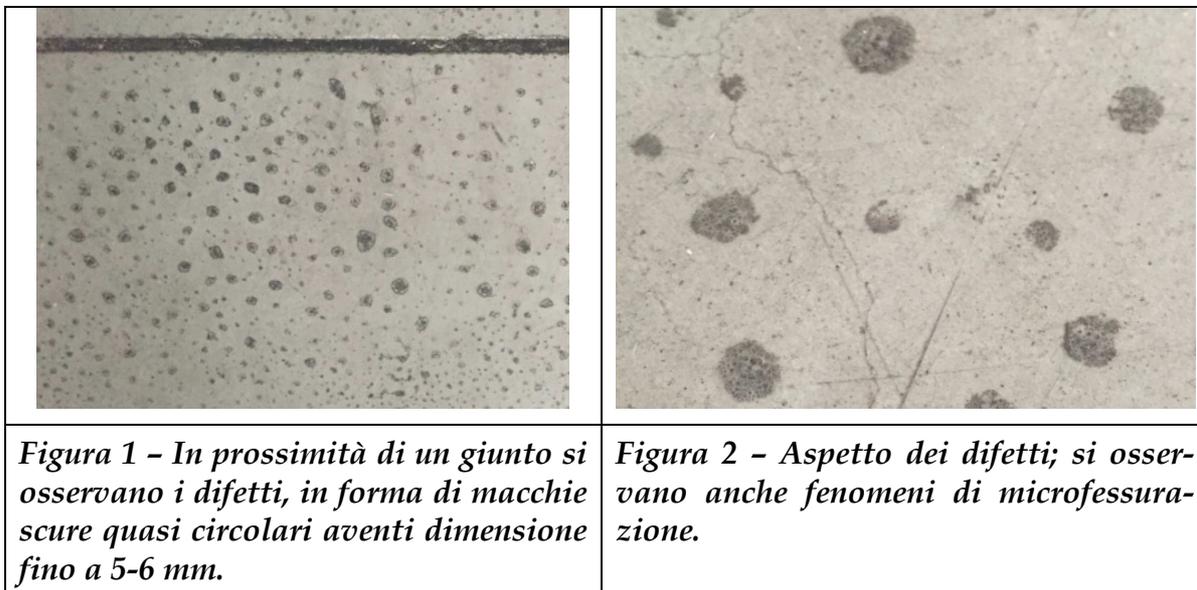
Il problema è diffuso su gran parte della superficie interna dove è presente una finitura semi liscia, e più evidente sulle aree di transito. Non sussiste sulle aree esterne dove la finitura è del tipo "scopato" e dove è stata eseguita soltanto una mano di trattamento antiolio.

¹ I pavimenti industriali in calcestruzzo possono presentare numerosi difetti, si veda in: V. ALUNNO ROSSETTI, A. FERRARO: "Difetti delle pavimentazioni in calcestruzzo", in concreto n. 53 pg 97-111.

L'articolo può essere scaricato dalla pagina: <http://www.clinicadelcalcestruzzo.it/Pubblicazioni%20vAR.html>

1.2 Aspetto del pavimento danneggiato

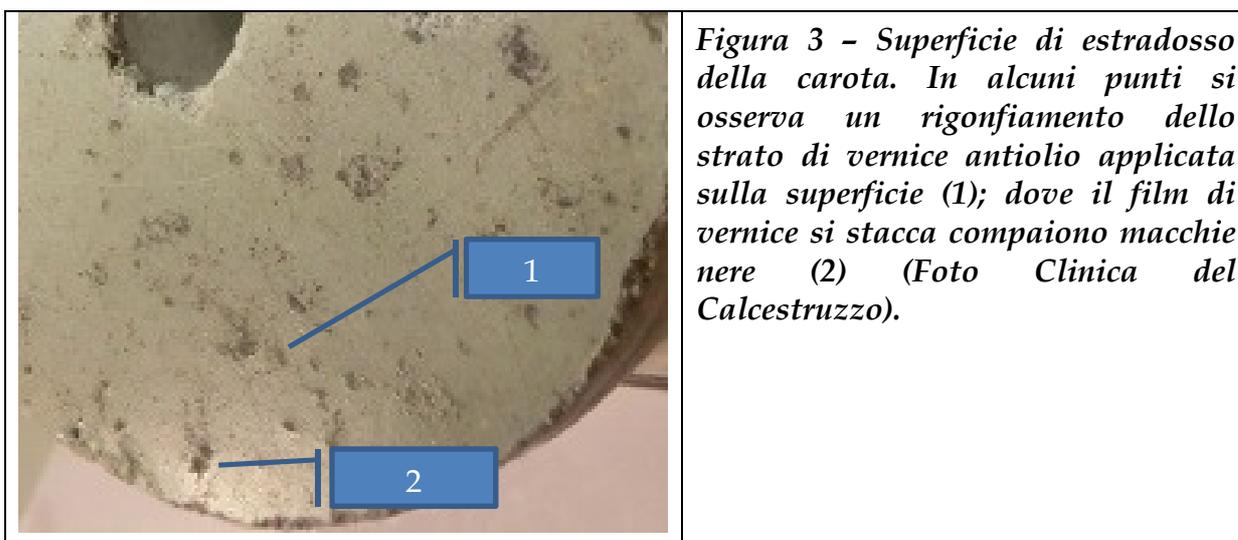
Nelle seguenti Figura 1 e Figura 2 si osserva l'aspetto della pavimentazione e alcuni difetti puntuali, costituiti da craterini poco profondi, simili a quelli dovuti ai fenomeni di alcali reazione (ASR).



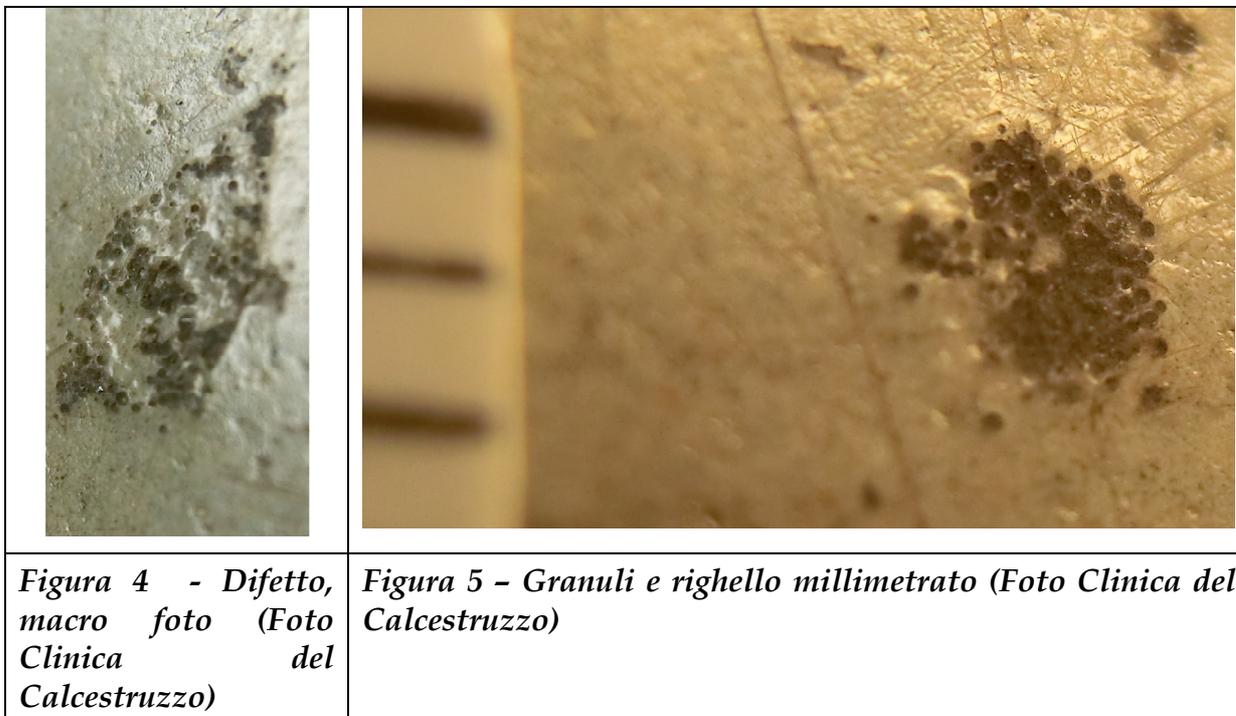
La distribuzione dei difetti sul pavimento è omogenea.

2. Osservazioni al microscopio ottico

Allo scopo di indagare sui difetti della pavimentazione, abbiamo impiegato un campione di pavimento fornito dal nostro Committente mostrato in Figura 3.



La carota è stata successivamente osservata mediante un microscopio ottico stereoscopico e fotografata. In questo modo sono state evidenziate le caratteristiche morfologiche dei difetti.



L'osservazione delle foto permette alcune considerazioni:

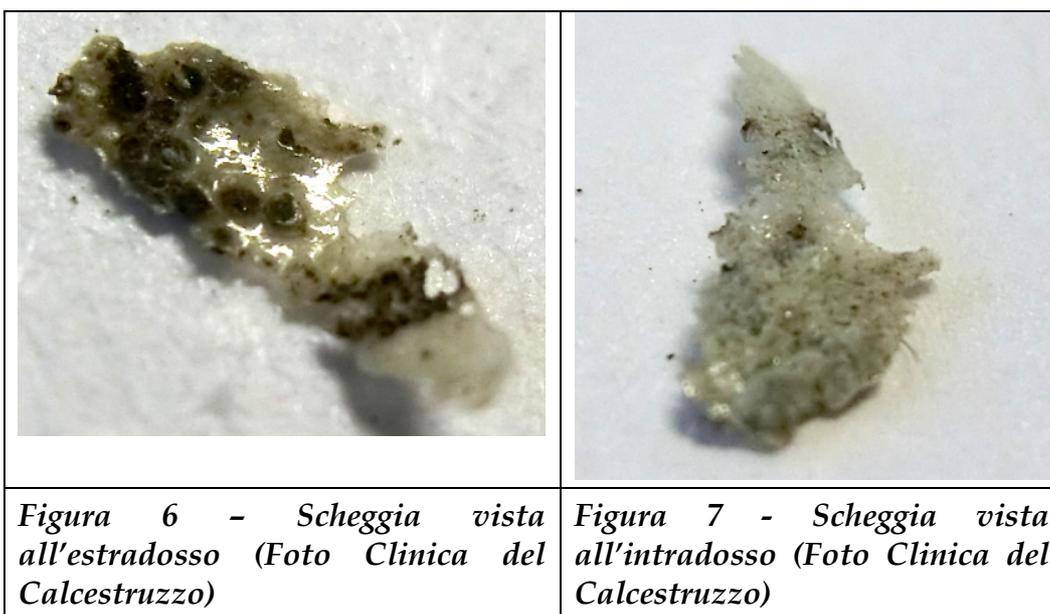
- nella Figura 4 si può osservare l'aspetto traslucido della pellicola superficiale che si interrompe in alcuni punti rivelando la presenza delle sferule localizzate in superficie e all'interno di questa;
- nella Figura 5 l'apparenza del difetto non è quella tipica della ASR, cioè un craterino al fondo del quale compare un granulo di aggregato; tale granulo ha quasi sempre diametro millimetrico²;
- si tratta invece di un agglomerato di particelle di colore nero, probabilmente sferoidali, ciascuna delle quali ha un diametro, poco variabile, intorno a 100 micrometri; tale dimensione coincide con lo spessore indicativo del film che ricopre la superficie della pavimentazione.
- Impiegando una lama sottile, con qualche difficoltà e vari tentativi, si è staccato un frammento lungo circa 2 mm della pellicola antiolio dalla carota in corrispondenza di un agglomerato di sferule, fotografandolo all'estradosso e anche all'intradosso.

La superficie di estradosso è facilmente riconoscibile per l'aspetto lucido dovuto al film di vernice antiolio, mentre all'intradosso si vedono residui della malta che costituisce lo sponero.

² Si veda in: Vito ALUNNO ROSSETTI "Il Calcestruzzo - Materiali e Tecnologia", Ed. McGraw & Hill, 2007, pag. 254

- La foto della Figura 6 mostra il frammento della pellicola antiolio visto sulla superficie di estradosso. È presente un agglomerato di sferule nere che costituisce una macchia sulla pavimentazione. La Figura 7 mostra lo stesso frammento visto all'intradosso.

È molto evidente che le sfere non sono presenti su quest'ultima superficie: si vedono solo puntini neri che probabilmente corrispondono alla parte inferiore delle sferette. Tali punti neri sono infatti presenti proprio in corrispondenza della maggiore concentrazione delle sferule. Nella pavimentazione sottostante, ovvero nello strato di spolvero non ci sono sfere.



La presenza delle sferule non è stata individuata al microscopio in un campione di spolvero, del quale peraltro non si è certi che sia dello stesso lotto di produzione di quello impiegato. Non si è riconosciuta neppure negli strati sottostanti allo strato di vernice, osservati al microscopio su una sezione di frattura inclinata rispetto all'asse della carota stessa.

L'osservazione a piccoli ingrandimenti non fornisce informazioni sulla natura delle sferette nere; ovviamente la prima ipotesi è che possa trattarsi di cenere volante, ma questo materiale presenta normalmente una granulometria molto più diversificata³.

In merito alla presenza ed allo spessore dello spolvero non siamo in grado di esprimerci in quanto non riconoscibile né a occhio nudo né al microscopio.

³ Si veda Foto in: Vito ALUNNO ROSSETTI "Il Calcestruzzo - Materiali e Tecnologia", Ed. McGraw & Hill, 2007, Pag. 80

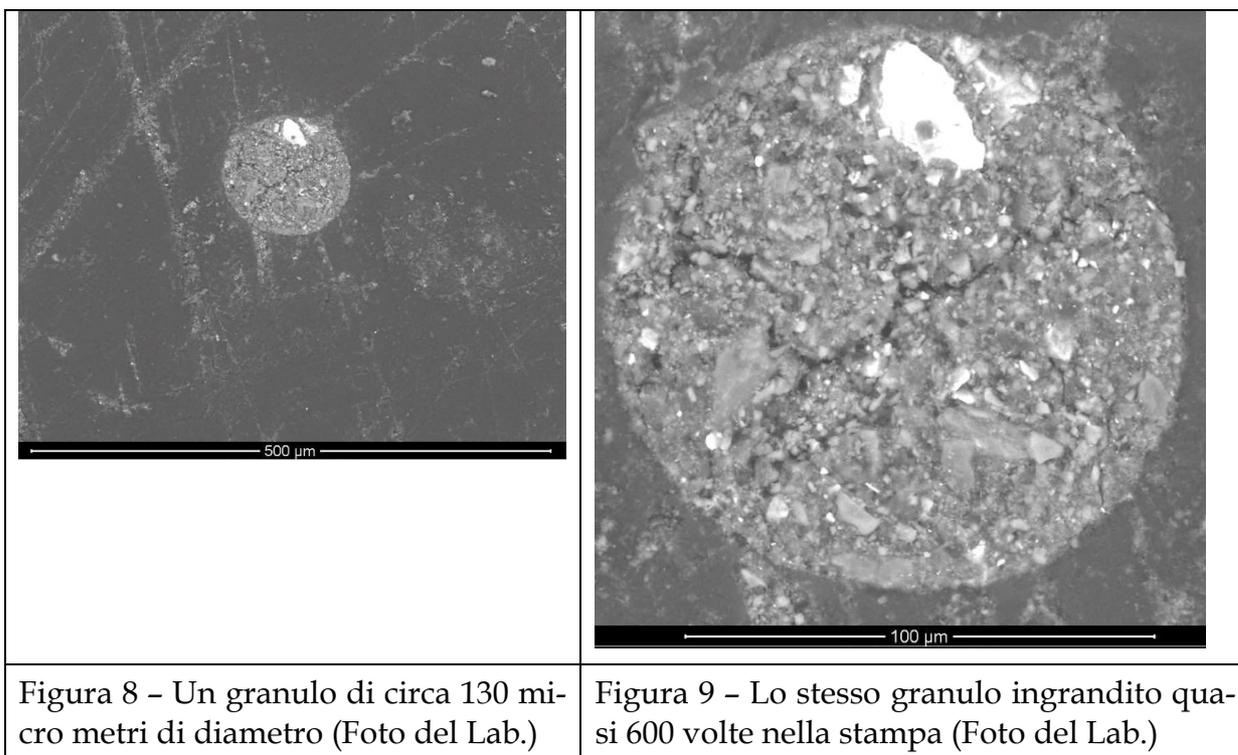
3. Osservazioni SEM con microsonda

Allo scopo di indagare in merito alla natura delle sferule individuate, si è ritenuto di dover ricorrere ad un adatto metodo analitico. A causa della ridottissima concentrazione del materiale significativo, si è scartata la possibilità di un'analisi tradizionale ed altresì dell'impiego della Diffrattometria a Raggi X (XRD), optando invece per la microanalisi in combinazione con il Microscopio Elettronico a Scansione (SEM). Questa consente di misurare l'intensità e la distribuzione dei Raggi X generati allorché un fascio di elettroni è puntato su porzioni microscopiche (di alcuni micrometri) della superficie esaminata. A tale scopo si fa uso di un rivelatore a dispersione di energia EDS (Spettrometria per Dispersione di Energia). La lunghezza d'onda dei Raggi X generati permette di riconoscere gli elementi chimici presenti.

Le analisi SEM sono state affidate ad un Laboratorio al quale richiediamo abitualmente questo tipo di analisi; il certificato rilasciato è Allegato alla Relazione consegnata al Committente. Nel seguito si discutono gli aspetti significativi

3.1 Aspetto dei granuli

La Figura 8 e la Figura 9 mostrano una sferula a due diversi ingrandimenti; all'ingrandimento maggiore, Figura 9, il diametro della foto stampata risulta di circa 76 mm, pari a circa 580 volte il vero diametro della sferula.



Si osserva che la sferula non è di materiale omogeneo ma è costituita da un agglomerato di particelle più piccole, di diverso colore e di dimensioni massime prossime a 10 micro metri, accompagnate da particelle ancora più piccole fino a scendere al di sotto di 1 µm; il colore è più chiaro dello sfondo (costituito dalla matrice di malta superficiale del pavimento); ciò si deve alle condizioni di ripresa.

Si nota una frattura della sferula, che non sembra interessare la matrice circostante. Si dovrebbero quindi escludere cause meccaniche di frattura, che avrebbero interessato anche la matrice. Si può invece ipotizzare un fenomeno di idratazione e rigonfiamento della sferula, che potrebbe aver causato la rottura del sottilissimo strato di pellicola formata dalla verniciatura.

Caratteristiche analoghe si ritrovano anche nell'area 3 analizzata dal Laboratorio.

3.2 Composizione chimica delle sferule

Il Certificato riporta, in tre tabelle, la composizione chimica delle tre aree fotografate, espressa come percentuale in peso rispetto alla somma dei pesi degli elementi chimici riconosciuti. Queste analisi non tengono conto del fatto che palesemente il materiale non è metallico ma è composto da ossidi e silicati. Per difficoltà analitiche intrinseche al metodo, tali analisi non riportano il contenuto di ossigeno, che ovviamente deve essere legato agli elementi metallici.

Nella seguente tabella vengono riportate le analisi medie ricavate dal Certificato; sono poi riportati i pesi degli ossidi dei vari elementi e la percentuale in ossidi del totale (i coefficienti per passare dalla percentuale degli elementi a quella degli ossidi variano in funzione della formula di ciascun ossido).

Tabella 1 - Analisi delle sferule nere

Analisi in elementi (escluso ossigeno)				Analisi in ossidi		
Elementi	Analisi aree % in atomi			MEDIA Aree	PESO In ossidi	Analisi in Ossidi %
	Area 1	Area 2	Area 3			
Na	2.80	2.70	4.20	3.23	4.4	2.0
Mg	4.50	4.90	5.00	4.80	8.0	3.7
Al	11.00	9.40	10.30	10.23	38.7	17.9
Si	40.80	28.90	29.90	33.20	71.1	33.0
S	1.80	1.20	2.10	1.70	3.4	1.6
K	3.20	3.20	3.90	3.43	8.3	3.8
Ca	20.90	20.80	24.60	22.10	30.9	14.3
Fe	15.00	16.20	14.50	15.23	43.5	20.2
Cu	n.d.	7.70	n.d.	2.57	3.2	1.5
Zn	n.d.	5.00	5.50	3.50	4.4	2.0
				100	215.8	100.0

3.3 Possibile natura delle sferule

Gli ossidi presenti in maggior misura sono evidenziati nella tabella; i valori delle loro concentrazioni possono essere confrontati con quelli dei materiali comunemente usati nei conglomerati cementizi, mostrati nella seguente Tabella 2.

Componenti	Pozzolana di Tivoli	Pozzolana di Bacoli	Cenere volante	Fumo di silice
SiO ₂	45-47	53-64	30-50	95-98
Al ₂ O ₃	15-23	17-20	15-30	0,5
Fe ₂ O ₃	6-12	4-6	6-10	
CaO	8-9	3-4	3-6	
MgO	1-3	1-2	2-5	
Na ₂ O+K ₂ O	3-4	5-13	0,5-1	0,3

La loppa d'altoforno presenta i seguenti limiti di composizione:

Componente	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Composizione, %	30-50	28-38	1-15	0,1-4	10-15

Tabella 2 - Limiti di composizione di prodotti che possono essere presenti nelle miscele cementizie. Tratto da : Vito ALUNNO ROSSETTI "Il Calcestruzzo - Materiali e Tecnologia", Ed. McGraw & Hill, 2007, pagg. 36 e 38

Le percentuali medie degli ossidi principali presenti nelle sferule sono: SiO₂ = 33.0%, Fe₂O₃, = 20.2%, Al₂O₃ = 17.9% e CaO = 14.3%; si può osservare che:

- il tenore di SiO₂ è troppo basso per trattarsi di una pozzolana naturale,
- il tenore di Fe₂O₃ e di CaO è troppo alto per una cenere volante,
- non può trattarsi di fumo di silice (poco SiO₂, dimensione eccessiva dei granuli),
- non c'è abbastanza CaO per essere una loppa d'altoforno.

La presenza degli elementi Rame e Zinco, estranei al mondo dei materiali da costruzione cementizi, fa d'altra parte pensare alla possibilità di essere in presenza di una scoria metallurgica. Una breve ricerca su Internet con le parole "Non Ferrous slag composition", ha consentito immediatamente di incontrare un tipo di scoria che presenta una certa somiglianza composizionale con quella delle sferule, riportata nella tabella seguente da: Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes di S.R. Ramachandra Rao, relativa alla produzione di Nichel a partire da minerale contenente metalli del gruppo PGM.

Table 8.6. Variability of Non-ferrous Slag Composition (Sudbury and Kemp, 2006).

Component	% SiO ₂	% FeO	% MgO	% CaO	% Al ₂ O ₃	% Cr ₂ O ₃	Sum
Smelter Type							
Copper Sulphide	36	47	1	2	4	-	90
Nickel Sulphide	36	46	3	3	6	-	94
Nickel Laterite	54	11	32	-	2	1	100
PGM Nickel	42	12	19	15	5	2	95
Lead Sulphide	22	35	1	20	4	-	82

Table 8.7. Examples of Residual Base Metal Content of Non-ferrous Slags (Sudbury and Kemp, 2006)

La composizione, come pure il fatto che il materiale sia granulato, fa supporre che l'ipotesi che si tratti di una scoria potrebbe essere corretta.

4. Conclusioni

A seguito dell'indagine condotta sui campioni forniti dal Committente, gli scriventi ritengono di trarre le conclusioni seguenti:

- il difetto lamentato è ben visibile sia in microscopia ottica sia in microscopia elettronica SEM: sono presenti agglomerati di sferule di dimensione fino a circa 150 micrometri di colore nero che costituiscono piccole chiazze nere sul pavimento.
- Dette sferule sono contenute (inglobate) nello strato di vernice antiolio, che ha spessore dello stesso ordine di grandezza del diametro delle sferule. Non sono state rilevate al di sotto della vernice antiolio né in un campione di spolvero forniti dall'impresa.
- Poiché i difetti si sono presentati solo dopo che la vernice antiolio è stata applicata, dopo circa due mesi dalla posa del calcestruzzo, si ritiene che le sferule fossero presenti in tale vernice al momento della applicazione.
- A forte ingrandimento (SEM) tali sferule mostrano una microstruttura di particelle di forma irregolare.
- Alcune di queste sferule mostrano fratture che probabilmente si formano a seguito di fenomeni di interazione con acqua e rigonfiamento; questi (insieme al traffico) possono aver contribuito alla lacerazione della vernice antiolio, che ha rivelato gli agglomerati neri di sferule.
- La composizione delle sferule, determinata mediante la microanalisi, non corrisponde a quella dei comuni materiali non metallici che si incontrano nelle costruzioni civili. Tuttavia, la presenza di silice e ossido di calcio potrebbero giustificare una certa reattività (sia dell'ossido di calcio, o calce viva, sia di qualche forma di silicato di calcio presente nel calcestruzzo) con l'acqua, dell'ambiente o della pasta cementizia, con aumento di volume.
- La presenza di quantità modeste di Rame e Zinco nelle sferule, porta a ritenere che possa trattarsi di scorie metallurgiche.
- La presenza indesiderata di tali scorie dovrebbe essere dovuta ad un qualche errore nella produzione.

Sulla base delle precedenti indagini e considerazioni gli scriventi ritengono che la responsabilità dell'accaduto sia del fornitore della vernice antiolio.

Ing. Antonella FERRARO

Prof. Dr. Vito ALUNNO ROSSETTI