

LA STABILITA' TERMO-IGROMETRICA DELLA THAUMASITE E DELL'ETTRINGITE
THERMO-HYGROMETRICAL STABILITY OF THAUMASITE AND ETTRINGITE

M. Pauri, M. Collepardi

LA STABILITÀ TERMO-IGROMETRICA DELLA THAUMASITE E DELL'ETTRINGITE

THERMO-HYGROMETRICAL STABILITY OF THAUMASITE AND ETTRINGITE

M. Pauri (*), M. Collepardi (*)

INTRODUZIONE

L'ettringite ($C_3A \cdot Cs_3 H_{32}$) e la thaumasite ($Cc \cdot Cs \cdot CS \cdot H_{14,5}$) sono due sostanze frequentemente rilevate tra i prodotti di degrado dei materiali cementizi soggetti all'azione dei sali solfatici.

L'ettringite e la thaumasite sono state abbondantemente segnalate nel degrado del calcestruzzo [1-7] come anche, più recentemente, nel deterioramento delle malte cementizie impiegate nelle murature [8, 9] e degli intonaci [10]: in particolare il problema si presenta grave nel campo del restauro degli edifici storici dove le malte cementizie si possono degradare proprio per formazione di ettringite e thaumasite [8].

Esiste il problema di una identificazione dell'ettringite e della thaumasite per una corretta diagnosi delle cause di degrado. In teoria per il riconoscimento di questi due composti in materiali cementizi degradati sono disponibili le seguenti tecniche: analisi termica differenziale, microscopia ottica, spettroscopia infrarossa e diffrazione di raggi X; in pratica, però, solo con quest'ultima è possibile una identificazione oltre che una distinzione dell'ettringite dalla thaumasite [11].

Tuttavia, anche con l'analisi per diffrazione dei raggi X, esistono notevoli difficoltà in quanto questi prodotti sono ov-

INTRODUCTION

Ettringite ($C_3A \cdot Cs_3 H_{32}$) and thaumasite ($Cc \cdot Cs \cdot CS \cdot H_{14,5}$) are two compounds frequently found among the deterioration products of cementitious materials subjected to the action of sulphate salts.

Ettringite and thaumasite have been abundantly reported in concrete deterioration [1-7] as also, more recently, in the deterioration of cementitious mortars used for masonry [8, 9] and for plaster [10]: particularly, the problem appears more serious in the field of repair of historical buildings where the cementitious mortar can deteriorate just by the formation of ettringite and thaumasite [8].

There exists the problem of ettringite and thaumasite identification for a correct diagnosis of the cause of deterioration. Theoretically, the following methods are available for the identification of the two compounds: differential thermal analysis, optical microscopy, infrared spectroscopy and X-rays diffraction; practically, however, an identification is possible only with the last one, as well as a distinction of ettringite from the thaumasite [11].

However, considerable difficulties exist also with the X-rays diffraction analysis, as far as these products are obviously

(*) Dipartimento di Scienza dei Materiali e della Terra, Facoltà di Ingegneria, Università di Ancona.

(*) Department of Science of Materials and Earth, Faculty of Engineering, University of Ancona, Italy.

viamente accompagnati da altri composti presenti nelle malte e nei calcestruzzi che rendono più difficoltoso il rilevamento dei riflessi nel diffrattogramma di raggi X.

Inoltre, il trattamento termo-igrometrico subito nell'ambiente naturale dal materiale prima dell'analisi potrebbe modificare l'intensità e/o la posizione dei riflessi ai raggi X rendendo fuorviante l'analisi stessa; per esempio un riscaldamento della malta, per effetto di una prolungata insolazione della muratura, potrebbe decomporre l'ettringite e/o la thaumasite rendendone impossibile l'identificazione.

Lo scopo del presente lavoro è appunto quello di valutare l'influenza delle variazioni di temperatura e di umidità relativa sull'intensità e sulla posizione dei riflessi del diffrattogramma ai raggi X. Tale valutazione è particolarmente utile ai fini del riconoscimento diagnostico dell'ettringite e della thaumasite nelle malte degradate ed eventualmente decomposte in situ per effetto termo-igrometrico.

PARTE SPERIMENTALE

L'ettringite è stata sintetizzata in laboratorio facendo reagire C_3A , gesso ed acqua.

La thaumasite è stata invece recuperata da un campione di malta degradata proveniente da un edificio storico dove si era formata, accanto all'ettringite, a seguito di una iniezione di pasta di cemento portland all'interno di una muratura in pietra legata con malta a base di gesso. In sostanza il campione era principalmente costituito da thaumasite, ettringite e gesso oltre che dagli inerti presenti nella malta (quarzo, carbonato di calcio). A seguito di un trattamento della malta macinata con una soluzione al 5% di Na_2CO_3 sono stati completamente rimossi l'ettringite ed il gesso [1]: nella Fig. 1 sono mostrati i diffrattogrammi relativi al campione prima e dopo il trattamento con carbonato di sodio.

Sia il campione di ettringite che quello di thaumasite ottenuto dopo il trattamento con Na_2CO_3 , sono stati conservati per una settimana a diverse temperature (20, 40, 60°C) ed a diverse umidità relative (0, 35, 65, 100%).

Al termine di questo primo trattamento, nella settimana successiva, l'ettringite è stata portata a 20°C e ad una umidità relativa (U.R.) del 100%, mentre la thaumasite è stata conservata a 4°C e 100% di U.R.: le condizioni termo-igrometriche della seconda settimana sono considerate le più favorevoli alla formazione dei due composti. In sostanza il trattamento della prima settimana simula le condizioni ambientali precedenti al prelievo, mentre il trattamento della seconda settimana riproduce l'ambiente più favorevole alla riformazione dei due composti in laboratorio prima di analizzare i campioni.

Nell'arco delle due settimane i campioni sono stati analizzati almeno una volta al giorno per valutare le eventuali variazioni nel diffrattogramma.

accompanied by other compounds present in the mortars and in the concretes which make more difficult the reading of the lines in the X-rays diffractogram.

Furthermore, the thermo-hygrometrical treatment of the material in natural environment immediately before the analysis could modify the intensity and/or the position of the X-rays lines, causing a deviation of the analysis itself; for example the heating of the mortar by the effect of a prolonged insolation of the masonry, could decompose the ettringite and/or the thaumasite causing impossible their identification.

The aim of the present work is precisely to evaluate the influence of the variation of temperature and relative humidity on the intensity and on the position of the lines of the X-rays diffractograms. Such evaluation is particularly useful for a diagnostical recognition of the ettringite and of the thaumasite in the deteriorate mortars and in case of mortars decomposed in situ by thermo-hygrometrical effect.

EXPERIMENTAL PART

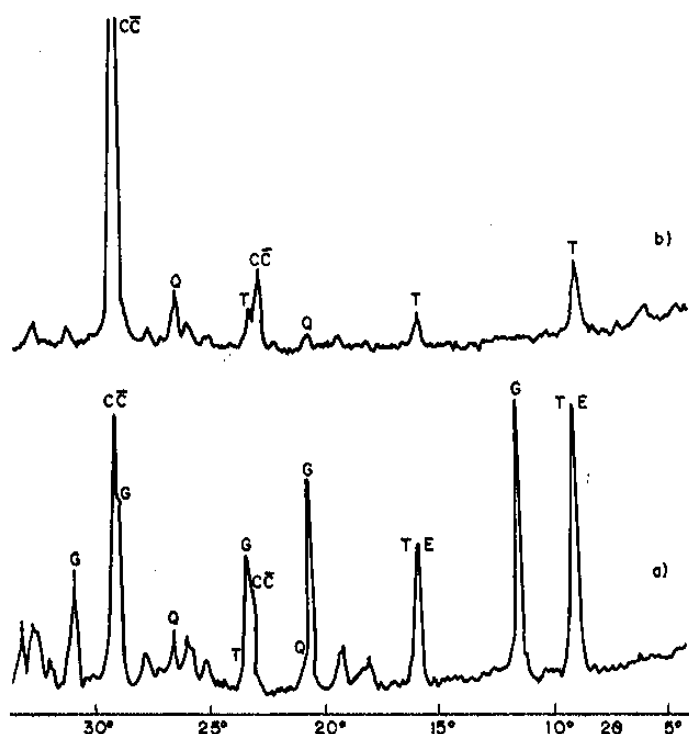
The ettringite has been synthesized in laboratory by the reaction of C_3A , gypsum and water.

Instead, the thaumasite has been obtained from a deteriorated mortar sample of an historical building where it was formed together with the ettringite in consequence of the injection of portland cement paste in a limestone masonry bound with gypsum based mortar. The sample consisted mainly of thaumasite, ettringite and gypsum, besides the other inerts present in the mortar (quartz, calcium carbonate). The ettringite and the gypsum have been completely removed by treating the ground mortar with a 5% Na_2CO_3 solution [1]: the diffractograms of the sample before and after the treatment with Na_2CO_3 are shown in Fig. 1.

Both synthesized ettringite and thaumasite, obtained after the treatment with Na_2CO_3 , have been kept at various temperatures (20, 40, 60°C) and relative humidities (0, 35, 65, 100%) for one week.

The following week, at the end of the first treatment, the ettringite was brought at 20°C and 100% relative humidity (R.H.): the thermo-hygrometrical conditions of the second week are considered more favourable for the formation of both compounds. Essentially, the first treatment simulates the environmental conditions before sampling, while the second treatment reproduces more favourable conditions to the reformation of the two compounds in laboratory before the analysis of the samples.

The samples have been X-rays analyzed at least every day during the two weeks in order to evaluate possible variations in the diffractograms.



1 - Analisi diffrattometrica del campione prima (a) e dopo (b) il trattamento con il carbonato di sodio (E = ettringite; T = thaumasite; G = gesso; Q = quarzo; CC = carbonato di calcio).

1 - X-rays patterns of sample before (a) and after (b) sodium carbonate treatment (E = ettringite; T = thaumasite; G = gypsum; Q = quartz; CC = calcium carbonate).

RISULTATI E DISCUSSIONE

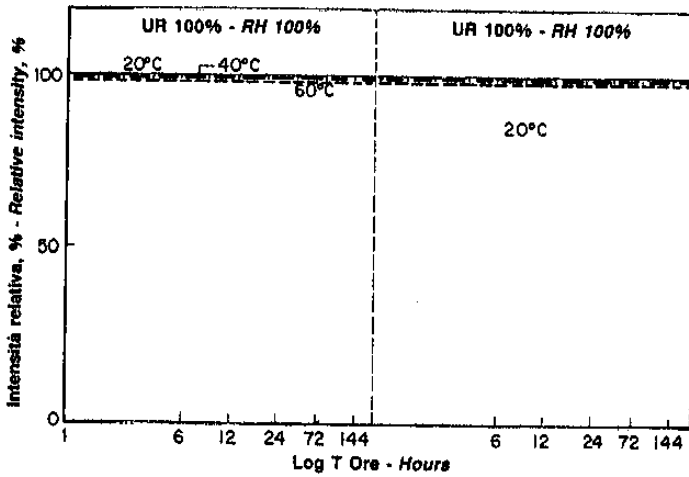
Nelle Figg. 2-5 sono mostrate le intensità del riflesso principale ai raggi X dell'ettringite (9,73 Å) in funzione del tempo. Se l'ambiente è saturo di vapore (Fig. 2) il riflesso principale dell'ettringite si conserva inalterato indipendentemente dalla temperatura presa in considerazione (da 20 a 60°C). Se l'ambiente è insaturo di vapore, l'intensità del riflesso diminuisce nel tempo: la diminuzione è tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura e quanto più bassa l'U.R. Per esempio, con U.R. del 65% una temperatura di 60°C è sufficiente ad annullare il riflesso principale dell'ettringite in meno di 24 ore (Fig. 3). Se il campione di ettringite è conservato in ambiente ancora più secco (U.R. = 35%) la diminuzione del riflesso è significativa anche ad una temperatura di 40°C (Fig. 4). In ambiente completamente secco (U.R. = 0%) poche ore di trattamento a 40°C annullano completamente il riflesso principale dell'ettringite (Fig. 5).

Riportando l'umidità relativa al 100% si ripristina l'iniziale intensità del riflesso ai raggi X dell'ettringite, mentre scompaiono quelle del C₃A e del solfato di calcio: il recupero dell'ettringite avviene tanto più rapidamente quanto più alta è stata l'U.R. e quanto più bassa la temperatura durante il trattamento « essiccante » della prima settimana. Per esempio, nel campione conservato a 20°C ed U.R. del 65% il riflesso torna alla sua intensità iniziale in pochissime ore (Fig. 3). Al contrario per il campione conservato a 60°C con U.R. dello 0% occorre circa una settimana per il recupero della iniziale intensità del riflesso ai raggi X (Fig. 5).

RESULTS AND DISCUSSION

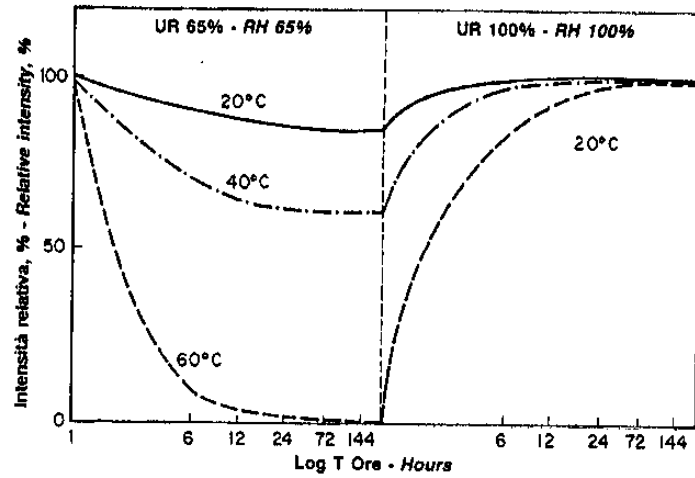
Figures 2-5 show the intensities of the X-rays main line of the ettringite (9,73 Å) with time. If the environment is vapour saturated, the principal line of the ettringite remains unaltered in the whole temperatures range (20-60°C). If the environment is vapour insature, the line intensity decreases with time: the decrease is higher, the higher the temperature and the lower the R.H. For example, a temperature of 60°C is sufficient to nullify the principal line of the ettringite in less than 24 hours at a R.H. of 65% (Fig. 3). If the sample is kept in a drier environment (R.H. = 35%), the decrease of the line is significative even at a temperature of 40°C (Fig. 4). In a completely dry environment (R.H. = 0%), a few hours of treatment at 40°C cancel completely the principal line of the ettringite (Fig. 5).

Bringing back the R.H. to 100%, the X-rays initial lines intensity of the ettringite is restored, while those of C₃A and of calcium sulphate disappear: the recovery of the ettringite occurs more rapidly, the higher the R.H. and the lower the temperature during the first week « drying » treatment. For example, the sample kept at 20°C and 65% R.H. returns to its initial intensity in a few hours (Fig. 3). On the contrary, the sample kept at 60°C and 0% R.H. needs about one week for the recovery of the X-rays initial lines intensity (Fig. 5).



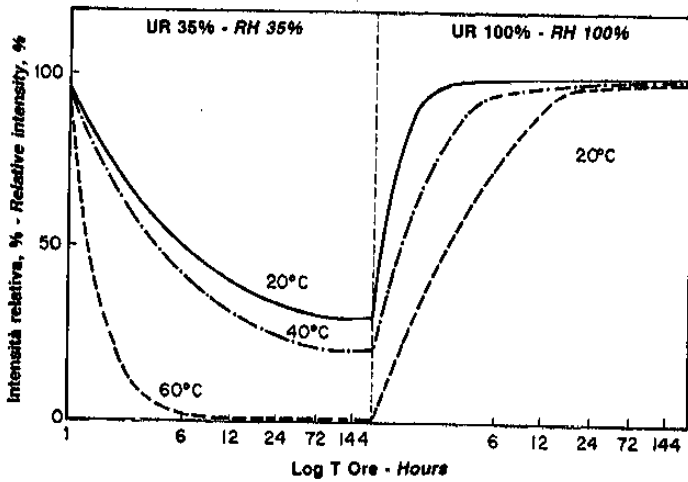
2 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X dell'ettringite (9,73 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 100%.

2 - Relative intensity of X-rays line of ettringite (9,73 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 100%.



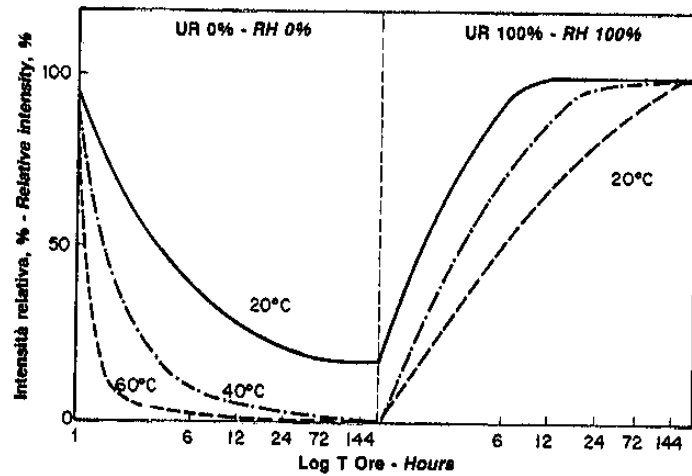
3 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X dell'ettringite (9,73 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 65%.

3 - Relative intensity of X-rays line of ettringite (9,73 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 65%.



4 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X dell'ettringite (9,73 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 35%.

4 - Relative intensity of X-rays line of ettringite (9,73 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 35%.

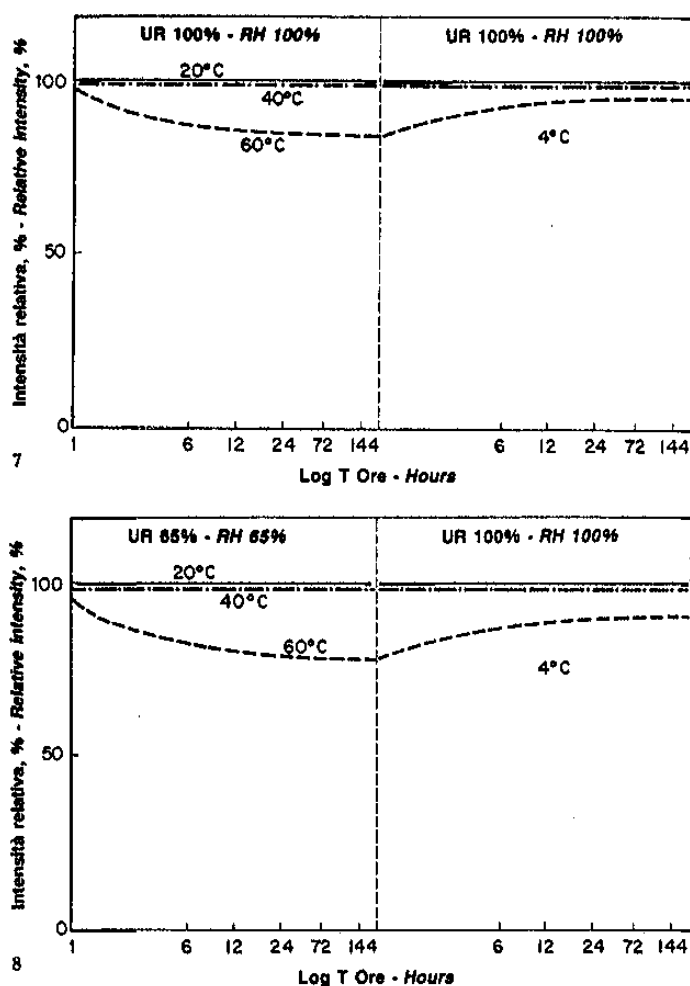
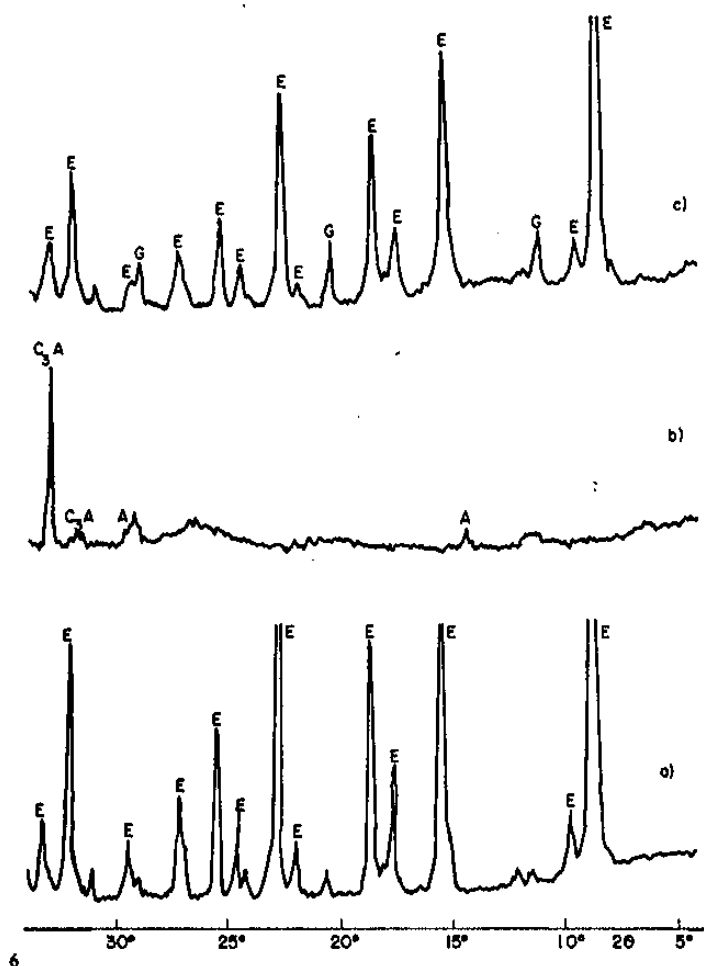


5 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X dell'ettringite (9,73 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa dello 0%.

5 - Relative intensity of X-rays line of ettringite (9,73 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 0%.

La scomparsa dell'ettringite per effetto del trattamento « essiccante » della prima settimana è accompagnata dall'apparizione dei riflessi appartenenti al C₃A, al gesso e/o anidrite: i diffrattogrammi della Fig. 6 mostrano, ad esempio, il campione originale di ettringite (a), i suoi prodotti di decomposizione (C₃A e gesso) per effetto del trattamento a 60°C con U.R. del 65% (b), ed infine il recupero dell'ettringite a spese del C₃A e gesso (c).

The disappearance of the ettringite by the effect of the first week « drying » treatment is accompanied by the appearance of the lines belonging to C₃A, to gypsum and/or anhydrite: the diffractograms of the Fig. 6 show, for example, the original sample of ettringite (a), its decomposition products (C₃A and gypsum) by the treatment at 60°C and 65% R.H. (b) and finally the recovery of the ettringite at the expense of C₃A and gypsum (c).



6 - Analisi diffrattometrica del campione originale di: a) ettringite; b) dei suoi prodotti di decomposizione a 60°C ed U.R. = 65%; c) dell'ettringite riformata a 20°C e U.R. = 100% (E = ettringite; A = anidrite; C₃A = alluminato tricalcico; G = gesso); 7 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X della thaumasite (9,56 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 100%; 8 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X della thaumasite (9,56 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 65%.

6 - X-rays patterns of original sample of: a) ettringite; b) of its decomposition products at 60°C and R.H. = 65%; c) of ettringite structure recovery at 20°C and R.H. = 100% (E = ettringite; A = anhydrite; C₃A = tricalcium aluminate; G = gypsum); 7 - Relative intensity of X-rays line of thaumasite (9,56 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 100%; 8 - Relative intensity of X-rays line of thaumasite (9,56 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 65%.

Nelle Fig. 7-10 sono mostrate le intensità del riflesso principale ai raggi X della thaumasite (9,56 Å) in funzione dei trattamenti termo-igrometrici relativi alle due settimane sopra descritti per l'ettringite.

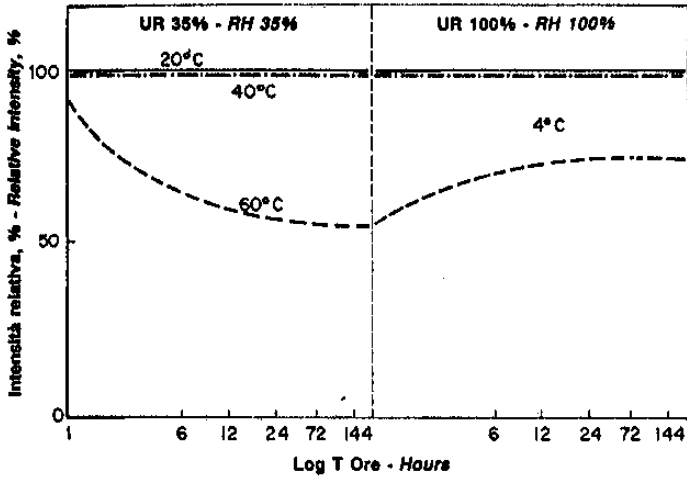
Se la temperatura non supera i 40°C, la thaumasite non si decompone qualunque sia stata l'umidità relativa. Solo a 60°C si verifica la decomposizione della thaumasite ed il processo è tanto più rapido quanto più bassa è l'U.R. Nel caso di un ambiente completamente secco si verifica la decomposizione completa della thaumasite in qualche giorno (Fig. 10).

La riuniformazione dei campioni essiccati a 60°C non comporta un recupero significativo di thaumasite (Figg. 7-9). Se poi la thaumasite è scomparsa del tutto, non si riforma af-

Figures 7-10 show the intensities of the principal X-rays lines of the thaumasite (9,56 Å) as a function of the above-described thermo-hygrometric treatments for two weeks just as for ettringite.

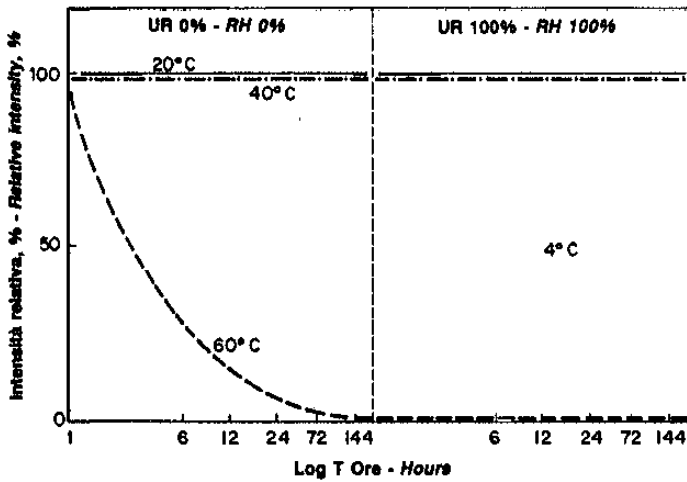
If the temperature does not exceed 40°C, the thaumasite does not decompose whatever the R.H. may be. The decomposition of the thaumasite occurs only at 60°C and the process is faster the lower the R.H. In the case of a complete dry environment, the complete decomposition of the thaumasite occurs in some days (Fig. 10).

The rehumidification of the dried samples, does not cause a significant recovery of the thaumasite (Figs. 7-9). If the thaumasite has completely disappeared, it does not reform



9 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X della thaumasite (9,56 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa del 35%.

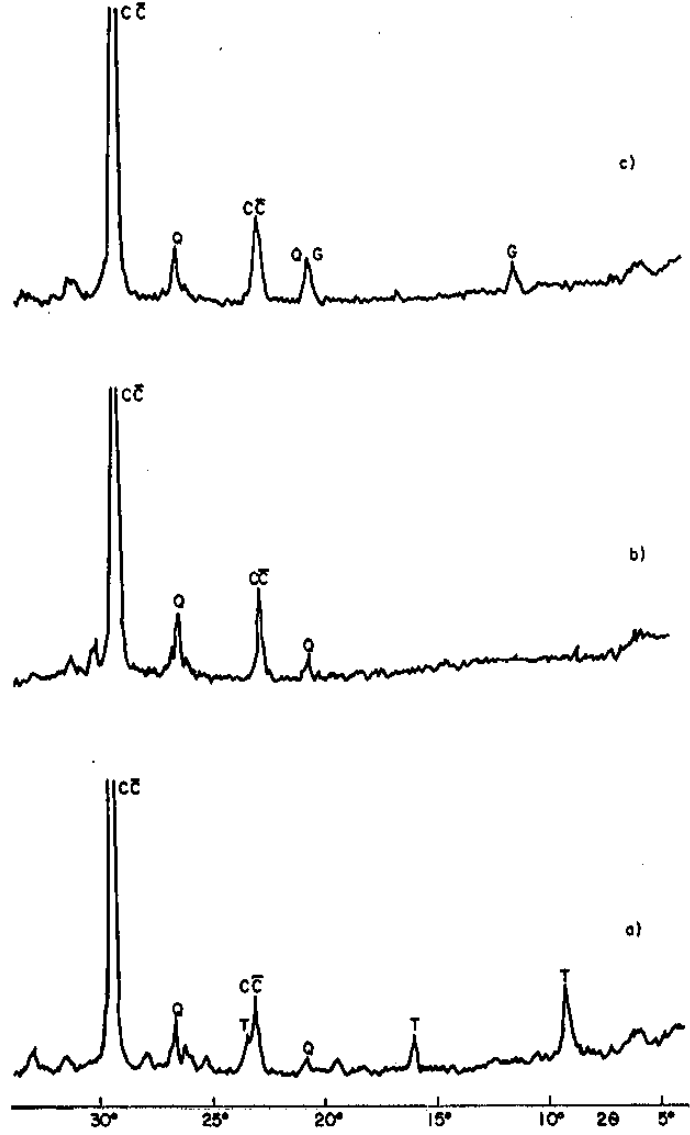
9 - Relative intensity of X-rays line of thaumasite (9,56 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 35%.



10 - Intensità relativa del riflesso dei raggi X della thaumasite (9,56 Å) in funzione del tempo di trattamento per differenti temperature all'umidità relativa dello 0%.

10 - Relative intensity of X-rays line of thaumasite (9,56 Å) versus treatment time for different temperatures at relative humidity of 0%.

fatto dopo una settimana di riuniformazione nelle condizioni più favorevoli ($T = 4^{\circ}\text{C}$; U.R. = 100%). Questo è in accordo con la lentezza del processo di formazione della thaumasite per la quale possono richiedersi anche mesi [1]. Nella Fig. 11 sono mostrati tre diffrattogrammi prima del trattamento termico (a), dopo 4 giorni di trattamento a 60°C ed U.R. di 0% (b), e dopo 7 giorni di riuniformazione a 4°C con U.R. del 100% (c): dopo la decomposizione completa



11 - Analisi diffrattometrica del campione originale di: a) thaumasite; b) dei suoi prodotti di decomposizione a 60°C ed U.R. = 0%; c) dei suoi prodotti reidratati a 4°C ed U.R. = 100% (T = thaumasite; Q = quarzo; CC = carbonato di calcio; G = gesso).

11 - X-rays patterns of original sample of: a) thaumasite; b) of its decomposition products at 60°C and R.H. = 0%; c) of rehydration products at 4°C and R.H. = 100% (T = thaumasite; Q = quartz; CC = calcium carbonate; G = gypsum).

after a week of rewetting in the more favourable conditions ($T = 4^{\circ}\text{C}$; R.H. = 100%). This is in agreement with the slowness of the formation process of the thaumasite which takes even several months [1]. Figure 11 shows three diffractograms: before the thermal treatment (a), after 4 days treatment at 60°C and R.H. 0% (b) and after 7 days of rewetting at 4°C and R.H. 100% (c); after the complete decomposition of the thaumasite, the formation of gypsum only is ob-

della thaumasite si osserva la formazione solo di gesso a seguito del processo di riuniformazione. Un trattamento di riuniformazione a 4°C protratto per alcuni mesi porterebbe in questo caso alla riformazione della thaumasite.

CONCLUSIONI AI FINI DIAGNOSTICI

Per quanto riguarda l'aspetto diagnostico di malte degradate per formazione di ettringite e/o thaumasite, si possono trarre le seguenti conclusioni sulla base dei dati già esistenti in letteratura completati da quelli ottenuti nel presente lavoro.

1) Le difficoltà nel distinguere con l'analisi diffrattometrica a raggi X la thaumasite dall'ettringite sono superate trattando secondo il metodo di Van Aardt [1] la miscela dei due composti con soluzione al 5% di Na₂CO₃ che decompone l'ettringite ed elimina anche il solfato di calcio biidrato eventualmente presente.

2) In alcuni casi le fasi responsabili del degrado non sono rilevabili in quanto esse possono essere state parzialmente, o quasi completamente, rimosse dagli agenti atmosferici; questo è particolarmente il caso della thaumasite che già per effetto delle piogge può essere facilmente asportata dalla muratura a causa della sua inconsistenza: ciò significa che l'assenza di thaumasite da un campione di malta degradata non necessariamente deve portare all'esclusione di questo composto come causa di degrado.

3) I risultati ottenuti indicano che l'ettringite e la thaumasite, entrambe formatesi nelle malte degradate, possono non essere rilevate in esse con l'analisi per diffrazione dei raggi X in quanto i trattamenti termo-igrometrici subiti in situ prima dell'analisi potrebbero aver decomposto parzialmente o totalmente i composti stessi.

4) La riuniformazione per una settimana a 20°C per l'ettringite e a 4°C per la thaumasite prima dell'analisi delle malte degradate comporta un miglioramento da un punto di vista diagnostico in quanto favorisce la riformazione dei prodotti eventualmente decomposti in situ con aumento dell'intensità dei riflessi dei raggi X per i due composti.

5) Solo nel caso della totale decomposizione della thaumasite, una settimana di riuniformazione prima dell'analisi non è sufficiente alla riformazione del composto.

Agosto 1989

Dipartimento di Scienza dei Materiali e della Terra - Facoltà di Ingegneria - Università di Ancona - 30, Via delle Brece Bianche - Ancona.

Su questo articolo è aperta la discussione fino al 31 Gennaio 1991.

served in consequence of the rewetting process. A rewetting treatment for some months at 4°C could bring, in this case, the reformation of thaumasite.

CONCLUSION FOR DIAGNOSTICAL AIMES

As far as the diagnostical aspect of the deteriorated mortar with the formation of ettringite and/or thaumasite is concerned, the following conclusions can be drawn on the basis of both already existed literature data and data obtained in the present work.

1) The difficulty in distinguishing the thaumasite from the ettringite by X-rays diffractometrical analysis has been overcome by treating, according to the method of Van Aardt [1], the mixture of the two compounds with 5% Na₂CO₃ which decomposes the ettringite and eliminates even the calcium sulphate bihydrate, possibly present.

2) In some cases, the responsible fase of deterioration cannot be identified as they can be partially or almost completely removed by atmospheric agents; this is particularly the case of the thaumasite which is easily removed, by rain's effect, from the masonry due to its disaggregation: that means that the absence of the thaumasite in a deteriorated mortar sample does not necessarily exclude this component as a cause of deterioration.

3) The results obtained indicate that both the ettringite and the thaumasite formed in deteriorated mortars may not be identified by the X-rays diffraction analysis in that the thermo-hygrometric treatments underwent in situ before the analysis could have partially or totally decomposed the compounds themselves.

4) The rewetting for one week of the ettringite at 20°C and of the thaumasite at 4°C before the analysis of the deteriorated mortar bring an improvement from a diagnostical point of view in that it favours the reformation in situ of possibly decomposed products with an increase in the X-rays line intensities of both compounds.

5) Only in the case of total decomposition of the thaumasite, a week of rewetting before the analysis is not sufficient for the reformation of the compound.

August, 1989

Discussion on this Paper is open until 31st January 1991.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

[1] VAN AARDT J.H.P., VISSER S.: *Cement and Concrete Research*, 5, 225 (1975).

[2] GOUDA G.R., ROY D.M., SARKAR A.: *Cement and Concrete Research*, 5, 519 (1975).

- [3] LUKAS W.: *Cement and Concrete Research*, 5, 503 (1975).
- [4] REGOURD M., HORNAIN H., MORTUREUX B., BISSERY P., EVERS G.: *Annales I.T.B.T.P.*, N. 358 Février 1978, Liants hydrauliques, n. 28.
- [5] LACHAUD R.: *Annales I.T.B.T.P.*, N. 370 Mars 1979, Essais et mesures, n. 167.
- [6] BARONIO G., BERRA M.: *Il Cemento*, 3, 169 (1986).
- [7] ALKSNIŠ F.F., ALKSNE V.I.: *8th Int. Cong. on Chem. of Cement*, Subtheme 4, 2. Rio de Janeiro, September (1986).
- [8] LUDWIG U., MEHR S.: *8th Int. Cong. on Chem. of Cement*, Subtheme 4, 2. Rio de Janeiro, September (1986).
- [9] CRAMMOND N.J.: *Cement and Concrete Research*, 15, 1039 (1985).
- [10] LEIFELD G., MUNCHBERG W., SEGMAIER W.: *Zement-Kalk-Gips*, 4, 174 (1970).
- [11] BENSTED J.: *Il Cemento*, 3, 81 (1977).

La stabilità termo-igrometrica della thaumasite e dell'ettringite - Riassunto - L'ettringite e la thaumasite vengono spesso rilevate tra i prodotti di degrado dei calcestruzzi soggetti all'azione dei solfati, ma anche nel deterioramento delle malte cementizie impiegate nelle murature e negli intonaci di edifici storici. Spesso è però difficoltoso diagnosticare con la tecnica di indagine più diffusa, la diffrattometria a raggi X, la presenza di queste due sostanze in quanto i loro riflessi caratteristici vengono modificati in intensità e/o posizione dalle variazioni termo-igrometriche dell'ambiente. Mentre l'ettringite è sensibile ad abbassamenti di umidità relativa ed innalzamenti di temperatura in modo reversibile, la thaumasite viene influenzata soprattutto dall'innalzamento della temperatura e richiede poi un lungo tempo perché possa riformarsi. Pertanto una sua identificazione, qualora sia stata decomposta a seguito di un riscaldamento, diventa estremamente difficoltosa.

Thermo-hygrometrical stability of thaumasite and ettringite - Synopsis - Ettringite and thaumasite are frequently found among the deterioration products of concretes subjected to the action of sulphate salts as also in deterioration of cementitious mortars used for masonry and for plaster of historical buildings. It is however difficult to evaluate with the more available analysis method, X-rays diffraction, the presence of these compounds for their characteristic lines are modified in intensity and/or position by environmental thermo-hygrometrical variations. Ettringite is reversibly affected by the decrease of relative humidity and increase in temperature. Thaumasite is mainly affected by temperature increases and needs long time to its structural recovery. Therefore, a correct diagnosis is very difficult when thaumasite has been decomposed by thermal treatments.

La stabilité thermo-hygrométrique de la thaumasite et de l'étringite - Résumé - L'étringite et la thaumasite se trouvent souvent parmi les produits de dégradation du béton, sujets aux actions des sulfates mais aussi dans la détérioration des mortiers de ciment, employés dans la maçonnerie et dans les enduits des monuments historiques. Il est très difficile de diagnostiquer avec la technique de recherche la plus diffusée, c'est à dire la diffractométrie à rayons X, la présence de ces deux substances étant donné que leurs réflèts caractéristiques subissent des modifications d'intensité et/ou position par les variations thermo-hygrométriques de l'environnement. Tandis que l'étringite est sensible d'une manière réversible aux abaissements d'humidité relative et aux rehaussements de température, la thaumasite est influencée surtout par le rehaussement de la température et sa reconstitution demande longtemps. Par conséquent, son identification au cas où elle ait été décomposée à cause du chauffage, devient extrêmement difficile.

Die thermisch-hygrometrische Festigkeit der Thaumasite und Etringite - Zusammenfassung - Etringite und Thaumasite befinden sich oft unter den sich degradierenden Produkten des Betons, die der Aktion der Sulfate ausgesetzt sind, sowie im Zementmörtel, der für Mauerwerk und Verputz von historischen Bauwerken verwendet wurden und sich deterioriert haben. Es ist oft sehr schwierig, selbst mit der bekanntesten Diffraktionsmesser und X-Strahlen Technik, die Anwesenheit dieser beiden Stoffe zu diagnostizieren, weil ihre Reflexeigenschaften je nach Intensität und/oder Lage von den thermisch-hygrometrischen Schwankungen der Umwelt verändert werden. Während die Etringite auf das Sinken der relativen Feuchtigkeit sowie auf das Steigen der Temperatur in reversibler Weise reagiert, wird die Thaumasite besonders vom Temperaturanstieg beeinflusst und danach eine lange Zeit benötigt um sich wieder neu zu bilden. Deshalb wird ihre Identifikation, falls sie sich durch Erwärmung aufgelöst hat, besonders schwer.