

Daniela Gastaldi  
Buzzi Unicem S.p.A.

# Il cemento in 3D

## Cement in 3D

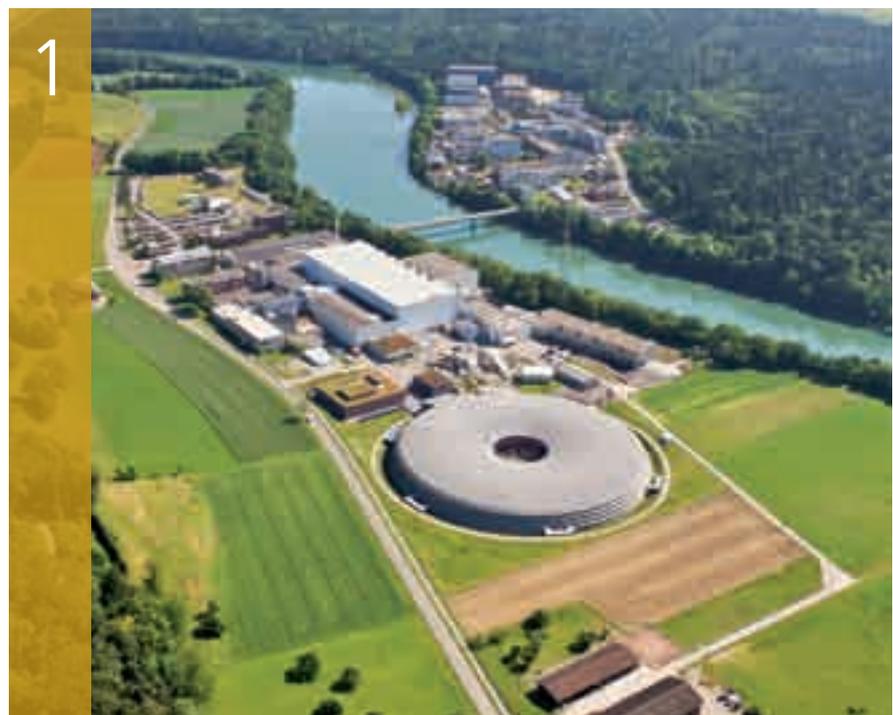
IL PROGETTO 3D-CEM, PRESENTATO IN COLLABORAZIONE CON I RICERCATORI DELL'UNIVERSITÀ DI ALESSANDRIA, È STATO APPROVATO DA UNO DEGLI ISTITUTI DI RICERCA PIÙ ALL'AVANGUARDIA IN EUROPA NELLA SCIENZA DEI MATERIALI, IL PAUL SCHERRER INSTITUT DI VILLIGEN (CH).

THE 3D-CEM PROJECT, PRESENTED IN CONJUNCTION WITH RESEARCHERS FROM THE UNIVERSITY OF ALESSANDRIA, WAS APPROVED BY THE PAUL SCHERRER INSTITUT OF VILLIGEN (SWITZERLAND), ONE OF THE MOST ADVANCED INSTITUTES ON MATERIALS RESEARCH IN EUROPE.

Nato dalla collaborazione tra il gruppo Ricerca & Sviluppo Buzzi Unicem di Trino ed i ricercatori dell'Università del Piemonte Orientale (Alessandria), il progetto 3D-CEM ha come obiettivo primario lo studio dei meccanismi di idratazione che sono alla base delle proprietà idrauliche dei cementi. Il cemento è un materiale chimicamente molto complesso, "vivo" ed in continua evoluzione quando impiegato in malta e in calcestruzzo: conoscere il suo comportamento nel tempo può aiutarci a capire come migliorarne le prestazioni.

Lo sviluppo scientifico e tecnologico degli ultimi 20 anni ha consentito enormi passi avanti nella scienza dei materiali. Ne è un esempio la diffrattometria a raggi X, già tecnica prettamente accademica e oggi diffusa nei laboratori del cemento. Grazie allo sviluppo di applicazioni dedicate ed alla collaborazione tra il mondo accademico e quello industriale, il passaggio dalla teoria alla pratica è stato possibile.

Il progetto 3D-CEM, coordinato dai Proff. Marco Milanese ed Enrico Boccaleri dell'Università del Piemonte Orientale (Alessandria), ci ha permesso di partecipare in prima linea allo sviluppo dell'applicazione di una tecnica estremamente all'avanguardia, la "tomografia tridimensionale", per lo studio dell'idratazione iniziale dei cementi. Abbiamo così potuto seguire, come in un film, l'evoluzione di



1. VEDUTA PANORAMICA DEL PAUL SCHERRER INSTITUT  
VIEW OF THE PAUL SCHERRER INSTITUT

una pasta di cemento appena idratata ed osservare i cambiamenti che si verificano nella forma e nella dimensione dei cristalli di clinker man mano che il materiale indurisce.

### Il Paul Scherrer Institut (PSI) e la Swiss Light Source (SLS)

Situato nella valle del fiume Aare, a metà strada circa tra Zurigo e Basilea, il Paul Scherrer Institut deve il suo nome al fisico svizzero che, insieme a Peter Debye, sviluppò un metodo basato sui raggi X per l'analisi della struttura cristallina dei materiali in polvere, metodo noto proprio con il nome di "Debye-Scherrer" e per il quale Debye fu insignito del premio Nobel nel 1936. Diversi "impianti su larga scala" trovano posto all'interno dell'istituto, ciascuno dei quali è suddiviso a sua volta in più linee di misura per un totale di circa 40 postazioni. Ogni postazione è coordinata da un gruppo di ricerca altamente specializzato: in totale lavorano al PSI circa 1.500 dipendenti tra scienziati, ricercatori, ingegneri e tecnici, quasi la metà dei quali non è di nazionalità svizzera.

L'SLS è un impianto per la generazione di luce di sincrotrone che consiste in un anello di 288 m di circonferenza lungo il quale sono collocati 36 magneti dipolari aventi un campo magnetico di 1.4 tesla. Il passaggio degli elettroni all'interno di questo anello ne provoca l'accelerazione fin quasi a raggiungere la velocità della luce, in seguito alla quale si ha l'emissione di una radiazione di energia di 2.4 GeV, un fascio di fotoni estremamente brillante ed altamente focalizzato, paragonabile ad un laser. La luce di sincrotrone viene emessa lungo una direzione tangenziale rispetto all'anello e convogliata verso le varie linee di misura collocate lungo l'anello stesso, come mostrato nello schema qui a fianco.

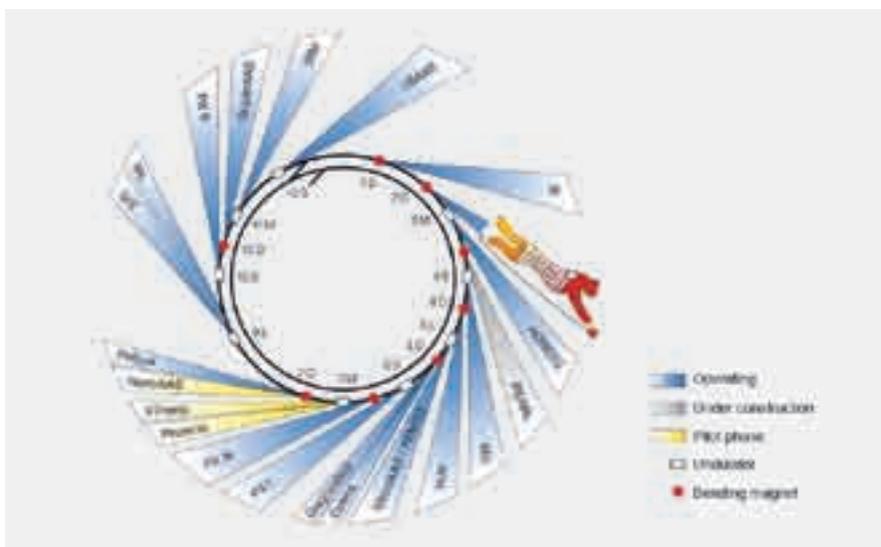
L'accesso al PSI da parte di utenti esterni è subordinato alla presentazione di un progetto di ricerca che viene valutato da un comitato di esperti: ai progetti ritenuti più meritevoli viene concesso l'utilizzo di una linea sotto la supervisione dei ricercatori interni.

### La linea TOMCAT

La linea TOMCAT (**TO**mographic **M**icroscopy and **Co**herent **r**Adiology experimen**T**s) è una stazione di misura

dedicata alla microscopia tomografica tridimensionale. In parole semplici: in questa linea è possibile "fotografare" campioni con una risoluzione superiore a un millesimo di millimetro. Quando la luce di sincrotrone colpisce il campione, essa viene assorbita dalle diverse fasi che costituiscono il materiale e l'entità di tale assorbimento dipende dalla densità e dalla composizione delle singole fasi. Ne deriva che le immagini che si ottengono non sono vere e proprie fotografie, ma sono in realtà "rappresentazioni" in scala di grigi del materiale, in cui la tonalità di grigio è diversa per ciascuna delle fasi

presenti all'interno del campione. Un esempio di immagine tomografica è mostrato in Fig. 1, in cui si vede una sezione del capillare contenente una pasta di cemento a 8 ore di maturazione. Per mezzo di calcoli basati sulle proprietà cristalline dei diversi minerali del cemento, si è stabilito che le particelle più scure sono le particelle del clinker (maggiore densità), mentre quelle più chiare sono gesso, calcare e fasi idratate, oltre che acqua libera e vuoti d'aria. La maggiore innovazione del lavoro svolto presso il PSI consiste proprio nella messa a punto di una scala cromatica che costituisce la



IMPIANTO SWISS LIGHT SOURCE – DISPOSIZIONE DELLE DIVERSE LINEE DI MISURA INTORNO ALL'ANELLO DEL SINCROTRONE  
SWISS LIGHT SOURCE FACILITY – THE VARIOUS BEAMLINES ARRANGED AROUND THE SYNCHROTRON RING

2. INTERNO DELL'IMPIANTO SWISS LIGHT SOURCE: VEDUTA DALL'ALTO DEI CONTAINER NEI QUALI SI TROVANO LE LINEE DI MISURA

*INSIDE THE SWISS LIGHT SOURCE FACILITY: VIEW OF THE BEAMLINE HUTCHES FROM ABOVE*

3. L'INTERNO DELLA LINEA TOMCAT. LA STRUMENTAZIONE DI MISURA È MONTATA SU ROTAIE

*INSIDE THE TOMCAT LINE. THE MEASURING INSTRUMENTATION IS MOUNTED ON TRACKS*

prima ed unica “stele di Rosetta” per l'interpretazione delle immagini tomografiche dei cementi e che in futuro potrà essere utilizzata da altri ricercatori come riferimento.

Grazie ad una recente implementazione tecnologica, un braccio robotizzato consente di spostare i campioni con controllo da remoto con precisione micrometrica: in questo modo è possibile acquisire immagini di diverse “fette” di uno stesso campione che poi, ricombinate con appositi programmi di gestione grafica, restituiscono un'immagine tridimensionale del campione stesso. Si veda, ad esempio, la Fig. 2: nell'immagine a sinistra è stato estrapolato un cristallo di gesso di dimensioni e forma ben definite all'interno di una microscopica porzione di pasta di cemento dopo 90 minuti dall'idratazione; trascorsi 200 minuti dall'idratazione, ripetendo la misura sulla stessa identica porzione di campione si vede che il cristallo di gesso si è totalmente disciolto ed al suo posto si trovano particelle disperse dei prodotti di idratazione. Lo studio descritto in questo articolo dimostra come le competenze tecnico-scientifiche di un'industria possano essere di grande utilità nel supportare le attività pionieristiche di ricerca di base svolte dai ricercatori universitari. La tomografia 3D rimane per ora uno strumento principalmente dedicato alla ricerca, tuttavia non è da escludere che nel giro di qualche anno la sua accessibilità ne permetta l'utilizzo anche in ambiti ordinari. I principali risultati scientifici ottenuti durante la campagna di misura al PSI sono stati pubblicati sulla rivista Elsevier “Construction and Building Materials”. Chi fosse interessato a ricevere una copia dell'articolo oppure ad avere maggiori informazioni sulla tecnica o sulle sue applicazioni, può rivolgersi all'indirizzo e-mail [dgastaldi@buzziunicem.it](mailto:dgastaldi@buzziunicem.it)



3

**O**riginating from a collaboration between the Buzzi Unicem Research & Development group in Trino and researchers from the University of Eastern Piedmont (Alessandria), the main purpose of the 3D-CEM project is to study the hydration mechanisms that are responsible for the hydraulic properties of cement. Cement is a very complex chemical material, one that is “living” and constantly evolving when used in mortar and concrete. Knowing how it behaves over time can help us better understand how to improve its performance. The field of material science has made huge scientific and technological advances over the last 20 years. One example of this is X-ray diffractometry, a technique that used to be confined to the world of academia but is now commonly used in cement laboratories. Thanks to the development of dedicated applications and collaborations between academia and industry, it has been possible to put theory into practice. Coordinated by professors Marco Milanese and Enrico Boccaleri from the University of Eastern Piedmont (Alessandria), the 3D-CEM project allowed us to participate firsthand in developing the extremely advanced “three-dimensional tomography” application to study the initial hydration of cement. Just like a film, we were able to follow the evolution of a cement paste that had just been hydrated and observe the changes that occurred to the shape and size of the clinker crystals as the material gradually hardened.

### **The Paul Scherrer Institut (PSI) and the Swiss Light Source (SLS)**

Located halfway between Zurich and Basel in the River Aar Valley, the Paul Scherrer Institut is named after the Swiss physicist who, together with Peter Debye, developed an X-ray technique known as the “Debye-Scherrer” method for analyzing the crystalline structure of powder materials, and for which Debye won a Nobel Prize in 1936. Various “large scale facilities” can be found within the institute, each one of which is subdivided into several beamlines for a total of approximately 40 measuring stations. Each station is coordinated by a highly specialized research group. Approximately 1,500 researchers, scientists, engineers and technicians work at the PSI, almost half of whom are not Swiss nationals. The SLS facility produces synchrotron light and it consists of a 288 m ring with 36 dipole magnets with a magnetic field of 1.4 tesla located along it. Passing electrons inside this ring causes them to accelerate until they almost reach the speed of light, after which they emit a beam of energy of 2.4 GeV, a band of extremely bright and highly focused photons that is comparable to a laser. Synchrotron light is emitted tangentially to the ring and conveyed to the various beamlines located along the ring itself, as shown in the diagram on page 12. External users wishing to access the PSI must present a research project for evaluation by a committee of experts, who grant the use of a beamline under the supervision of internal researchers on the basis of the scientific merit of the proposal.

### The TOMCAT beamline

The TOMCAT (**TO**mographic **M**icroscopy and **Co**herent **rA**diology experimen**Ts**) beamline is a station dedicated to three-dimensional tomographic microscopy. Simply put, in this beamline, samples can be “photographed” at a resolution greater than one thousandth of a millimeter. When the synchrotron light hits the sample, it is absorbed by the various phases of the material. The extent to which it is absorbed depends on the density and the composition of the individual phases. The images obtained are not actually photographs, but really grey scale “representations” of the material, with different grey tones representing each of the phases present inside the sample. An example of a tomographic image is shown in Fig. 1, which shows a cross-section of the glass tube containing a cement paste at 8 hours of curing. By means of calculations based on the crystalline properties of the various minerals in the cement,

we have established that the darkest particles are particles of clinker (greater density), while the lighter ones are gypsum, limestone and hydrated phases, as well as free water and air voids. The greatest innovation of the work done at PSI is the development of a chromatic scale, the first and only “Rosetta stone” for interpreting the tomographic images of cement, which can be used by other researchers as a reference in the future.

Thanks to a recent technologic implementation, a robotic arm moves the samples by remote control with micrometric precision. In this way, it is possible to obtain images of different “slices” of the same sample which then yield a three-dimensional image of the sample, when put together with special graphic programs.

For example, the image on the left in Fig. 2 shows a gypsum crystal with a well defined size and shape inside a microscopic portion of cement paste after 90 minutes from

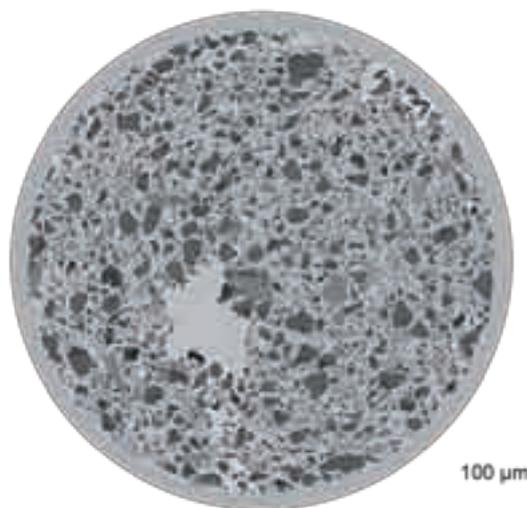
hydration; repeating the measurement on the same portion of sample 200 minutes after hydration, you can see that the gypsum crystal is completely dissolved with scattered particles of the hydration products taking its place.

The study described in this article shows how the technical-scientific expertise of an industry can be extremely useful in supporting the pioneering basic research performed by university researchers. For the moment, 3D tomography remains a tool used mainly for research; however, it is possible that it could also be available for use in ordinary environments in a few years time.

The main scientific results obtained during the measurement campaign at PSI were published in the Elsevier journal “Construction and Building Materials”. Please send an email to [dgastaldi@buzziunicem.it](mailto:dgastaldi@buzziunicem.it) if you are interested in receiving a copy of the article or obtaining further information about the technique or its applications.

**FIG. 1**  
IMMAGINE  
MICRO-TOMOGRAFICA  
DI UNA SEZIONE  
DI CAPILLARE CONTENENTE  
LA PASTA DI CEMENTO  
A 8 ORE DI  
INVECCHIAMENTO

MICRO-TOMOGRAPHIC  
IMAGE OF A GLASS TUBE  
CROSS-SECTION  
CONTAINING  
THE CEMENT PASTE  
AT 8 HOURS OF CURING



**FIG. 2**  
EVOLUZIONE DI  
UN CRISTALLO DI GESSO  
ALL'INTERNO DI UNA PASTA  
DI CEMENTO

EVOLUTION OF  
A GYPSUM CRYSTAL  
INSIDE A CEMENT PASTE

