

I geopolimeri : “Ritorno al passato o salto nel futuro”

Leganti ecosostenibili alternativi al cemento

Rossella Modarelli e Alessandro Largo, Ricercatori presso la Divisione Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Consorzio CETMA, Brindisi

Livio Pascali direttore tecnico e socio fondatore Logocert.

...UN PO' DI STORIA

Negli anni '50 Victor Glukhovsky, un ricercatore ucraino del KICE (*Kiev Institute of Civil Engineering, ex URSS*), studiando le differenze tra i leganti antichi e i calcestruzzi moderni, giunse alla sintesi di vari leganti alluminosilicatici da argille, feldspati, ceneri vulcaniche e scorie di vario tipo, che chiamò "*soil silicate concretes*" e "*soil cements*" e che esibivano proprietà superiori a quelle dei materiali cementizi di uso comune a quel tempo. Sulla base di tali studi, nel 1978 il ricercatore francese Joseph Davidovits del *Geopolymer Institute di Saint-Quentin* (Francia) giunse a coniare il termine "*geopolimeri*" per indicare polimeri inorganici prodotti artificialmente, secondo un processo definito come geopolimerizzazione, a partire da alluminosilicati, ovvero materiali che hanno nella loro struttura gruppi SiO_4 e AlO_4 . Combinando la sua esperienza nella chimica degli alluminosilicati con un grande interesse per l'archeologia dell'antico Egitto, Davidovits si convinse che con il legante geopolimerico furono costruite alcune delle più belle piramidi egiziane alcuni millenni a.C..

Il ricercatore, infatti, non riteneva attendibile la teoria più comunemente accreditata, circa la costruzione delle piramidi, secondo la quale grossi blocchi di roccia erano stati prima sagomati in forme quasi perfette, quindi sollevati fino a quote sempre più elevate nel corso della costruzione e, infine, montati l'uno accanto all'altro a conferire la forma desiderata alle Piramidi, non essendo disponibili all'epoca né tecniche di lavorazione così precise né i necessari mezzi di movimentazione e sollevamento di elementi così grandi.

Sulla base di tali convinzioni e grazie alla conoscenza della disponibilità di particolari materie prime in prossimità delle Piramidi (non disponibili in altri siti e, dunque, non utilizzabili altrove), Davidovits formulò un'ipotesi alternativa per spiegarne la costruzione. Secondo il ricercatore i blocchi componenti furono realizzati in opera, miscelando un calcare marnoso, contenente carbonato di calcio (CaCO_3) e argilla ($\text{H}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) intimamente mescolati dal punto di vista mineralogico, con miscele di Natron (Na_2CO_3), acqua e calce (CaO).



Figura 1. Piramidi di Giza

Secondo Davidovits, inoltre, anche il cemento romano e i piccoli manufatti che si credevano in pietra della civiltà precolombiana *Tiahuanaco* fecero uso della conoscenza di tecniche geopolimeriche.

IL PROCESSO DI PRODUZIONE DEI GEOPOLIMERI

I geopolimeri si producono a partire da materiali naturali, come le ceneri vulcaniche e le pozzolane, e da materiali artificiali, come il metacaolino, le scorie d'altoforno, le ceneri volanti e qualsiasi altra sorgente di allumina e silice purché polverizzata.

Il prefisso “*geo*” sta ad indicare che i geopolimeri sono caratterizzati da composizione chimica e struttura mineralogica del tutto simili a quelle tipiche delle rocce naturali, di cui, pertanto, esibiscono le principali proprietà cioè la durezza, la stabilità chimica e la longevità.

Il processo di produzione dei geopolimeri è simile a quello dei cementi: esso avviene per miscelazione di una polvere reattiva (detta base) con un legante a base acquosa (detto attivatore) e un'eventuale carica funzionalizzante. La reazione di un alluminosilicato solido in polvere con una soluzione acquosa altamente basica (costituita, generalmente, da idrossidi e silicati di sodio e potassio) produce un alluminosilicato alcalino sintetico, ossia il geopolimero, che è l'analogo amorfo o semi-cristallino delle zeoliti.

Durante la geopolimerizzazione si forma un gel, ovvero una “resina” poli-minerale (la vera matrice geopolimerica) che consiste di tetraedri SiO_4 e AlO_4 legati in sequenza alternata. Il gel agisce da collante per le materie prime a base allumino-silicatica che non hanno reagito e le eventuali cariche aggiunte come rinforzo (fibre, particelle metalliche, polveri ceramiche e vetro, polimeri) come avviene con le resine organiche. Il processo avviene, anche in funzione dei materiali utilizzati a temperature basse, tra 25°C e 120°C, e con un consolidamento rapido, dalle 5 alle 10 ore, pari a quello dei cementi a presa rapida.

L'UTILIZZO DEI GEOPOLIMERI IN SOSTITUZIONE DEL CEMENTO

L'interesse della comunità scientifica si è recentemente indirizzato verso le applicazioni dei geopolimeri nel settore delle costruzioni e, in particolare, nel settore dell'edilizia sostenibile, in quanto alternativa efficiente ed ecosostenibile al cemento Portland ordinario, la cui produzione è, non solo fortemente energivora, ma anche estremamente dannosa per l'ambiente. Come noto, infatti, il cemento viene prodotto a partire da calcare o argilla che devono essere cotti ad altissime temperature (dell'ordine dei 1500°C), generando grandi quantità di anidride carbonica sia durante il preriscaldamento del forno che, successivamente, nella fase di cottura vera e propria, come prodotto delle reazioni di combustione. L'industria del cemento è responsabile del 5% delle emissioni totali di CO_2 nell'atmosfera, quota superiore a quella imputabile all'intero trasporto aereo mondiale. Si stima, infatti, che, ad ogni tonnellata di cemento prodotto, corrisponda l'emissione di 0.8 tonnellate di CO_2 . L'utilizzo di leganti geopolimerici, invece, consente di ottenere una riduzione delle emissioni di anidride carbonica pari all'80% rispetto al cemento tradizionale, poiché le materie prime (ceneri volanti, scorie metallurgiche, metacaolino, ecc.) non richiedono alcun tipo di pretrattamento termico e possono essere direttamente inglobate nel relativo processo di produzione. Altri vantaggi dei leganti geopolimerici sono l'elevata resistenza a compressione, l'assenza di stress termici, l'ottima resistenza a numerosi agenti chimici, bassa permeabilità e bassa segregazione.

Moltissimi sono i temi relativi ai geopolimeri che la comunità scientifica sta analizzando; in particolare, con riferimento ai possibili materiali idonei a costituire la base geopolimerica, si stanno investigando:

- metacaolino, prodotto naturale dotato di caratteristiche composizionali particolarmente idonee alla geopolimerizzazione, ma di difficile reperibilità ed elevato

costo e per tali ragioni utilizzato essenzialmente in prodotti ceramici o da restauro ad alto valore aggiunto.

- materiali silico-alluminati, prevalentemente caratterizzati da reattività idraulica, provenienti da processi di scarto di importanti lavorazioni industriali. In Europa e soprattutto in Italia molto si sta lavorando su basi composte a prevalenza di loppa d'alto forno e/o cenere volante.

Tra i lavori di ricerca ora in corso sui geopolimeri, particolarmente interessanti sono i risultati raggiunti nell'ambito del progetto europeo SUS-CON (*SUStainable, innovative and energy-efficient CONcrete, based on the integration of all-waste materials*), coordinato dal Consorzio CETMA di Brindisi, in cui si sono sviluppati conglomerati geopolimerici costituiti in misura predominante da materiali di scarto. Tra i risultati conseguiti si riporta la possibilità di ottenere conglomerati geopolimerici a elevato contenuto di materiale riciclato, sia nel legante che nell'aggregato, e prestazioni fisico - meccaniche comparabili con quelle di analoghi prodotti a base cementizia.

Altrettanto interessanti sono i risultati di una ricerca condotta dal Consorzio CETMA e dalla Logocert di Galatina (LE), in merito alla messa a punto di una base per legante geopolimerico ad elevata percentuale di costituenti riciclati. A valle di un corposo lavoro sperimentale, si è giunti alla formulazione di una base costituita da principalmente da loppa, con oltre il 75% di costituenti riciclati, ed un attivatore a base di silicato di potassio. Una volta messa a punto la base e, quindi, il legante, se ne sono investigate le prestazioni sui possibili conglomerati geopolimerici, ad esempio malte e calcestruzzi che ne possono derivare.

Si è verificata la possibilità di formulare con legante geopolimerico tipologie di conglomerato geopolimerico che presentassero prestazioni di resistenza meccaniche paragonabili a quelle di equivalenti prodotti cementizi.

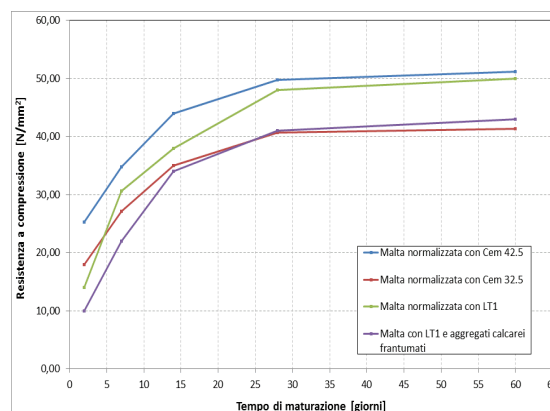


Figura 2. Andamento delle resistenze meccaniche per malte geopolimeriche e cementizie con prestazioni paragonabili

Tra le tipologie geopolimeriche maggiormente indagate sono state scelte quelle che potessero verificare alcuni stress prestazionali; ad esempio sono stati testati calcestruzzi geopolimerici autocompattanti per meglio indagare la lavorabilità "spinta" e la capacità di evitare al contempo fenomeni di segregazione.

Dette prestazioni sono state successivamente confrontate sia allo stato plastico (lavorabilità, mantenimento di lavorabilità, segregazione, viscosità, aria, *retempering*) che allo stato indurito (resistenza a trazione, modulo elastico, ritiro, permeabilità, conducibilità elettrica e termica, sviluppo di calore, resistenza al fuoco) con quelle di tipologie cementizie equivalenti in termini di resistenza a compressione (requisito I del regolamento UE n.305/2011 - Stabilità meccanica).



Figura 3. Slump – Flow (UNI EN 12350-8) su calcestruzzo geopolimerico



Figura 4. Provini di calcestruzzo e malta geopolimerici

Nelle tabelle seguenti si riporta un giudizio qualitativo delle prestazioni dei prodotti geopolimerici rispetto agli equivalenti cementizi.

Prestazione	Giudizio
Lavorabilità	=
Mantenimento della lavorabilità	+
Segregazione	+
Viscosità	+/-
Bleeding	+
Aria	+/-
Retempering	--

Tabella 1. Riepilogo prestazionale delle proprietà allo stato fluido

Prestazione	Giudizio
Resistenza a compressione	=
Resistenza a trazione	+
Modulo Elastico	+/-
Ritiro	--
Permeabilità	++
Conducibilità elettrica	+/-
Conducibilità termica	+
Sviluppo di calore	++
Resistenza al fuoco	++

Tabella 2. Riepilogo prestazionale delle proprietà allo stato indurito

Alcune prestazioni sono caratterizzate da giudizi nettamente positivi (“+”) o negativi (“-“), mentre altre dovranno essere valutate in funzione delle applicazioni finali dell’eventuale manufatto: il modulo elastico leggermente minore rispetto a quello di un conglomerato cementizio può essere un’opportunità o un limite a secondo dell’applicazione, la permeabilità decisamente inferiore sarà quasi sempre un elemento positivo ed il ritiro decisamente superiore un problema da risolvere.

Al fine di valutare la potenzialità reali del legante geopolimerico si è, infine, effettuata un’analisi *SWOT* (Strengths - punti di forza, Weaknesses - punti di debolezza, Opportunities - opportunità, Threats - minacce) sinteticamente riportata nella figura seguente.

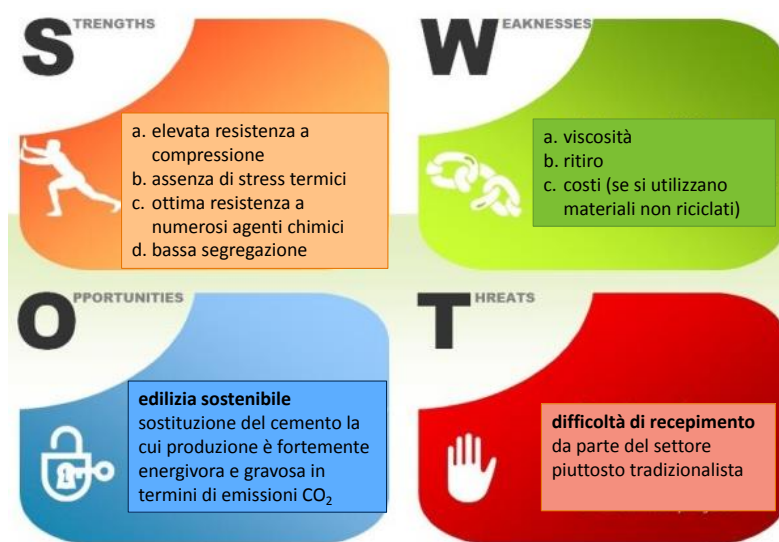


Figura 5. Analisi SWOT sui geopolimeri

BIBLIOGRAFIA

- [1] Joseph Davidovits, Margie Morris, The pyramids: an enigma solved, New York, Hippocrene Books, 1988. ISBN 0-87052-559-X.
- [2] Joseph Davidovits, Francisco Aliaga, Fabrication of stone objects, by geopolymeric synthesis, in the pre-incan Huanka civilization (Peru) in Making Cements with Plant Extracts, Geopolymer Institute, 1981.
- [3] Joseph Davidovits, 1994, Geopolymers: man-made rock geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement, Journal of Material Education 16, pp. 91-139.
- [4] Mario Collepari, DAL CALCESTRUZZO ANTICO A QUELLO MODERNO Parte I - Evoluzione dei leganti per malte e calcestruzzi, <http://www.enco-journal.com/journal/ej41/mario.html>
- [5] Valentina Medri, GEOPOLIMERI: "CERAMICHE" PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE, L'Industria dei Laterizi, gennaio- febbraio 2009, 115, 48-53, Il Sole 24 Ore Business Media, ISSN 11-23-8208.
- [6] Maria Grazia Bignozzi, cap. 5 "Geopolimeri e cementi: due leganti a confronto" dal libro "Geopolimeri - Polimeri Inorganici Chimicamente Attivati" a cura di Cristina Leonelli e Marcello Romagnoli.
- [7] <http://www.sus-con.eu>