

L'uso improprio del cemento sulle murature



Stefano Lancelotti
Edilan

L'intero patrimonio architettonico storico e monumentale mondiale, è stato edificato e mantenuto per millenni, con leganti a base di calce nel rispetto della regola dell'arte (fig. 1).

Negli ultimi decenni la calce ha ceduto il passo al cemento nel cantiere di restauro, con effetti disastrosi.

Il rispetto della regola dell'arte in edilizia ha un significato preciso: è il modo corretto di portare a termine una lavorazione, secondo i dettami del buon costruire; ma oggi è errore comune, confondere l'edilizia moderna del calcestruzzo armato con la manutenzione ed il restauro delle murature.

La costruzione di una gigantesca pila infrastrutturale e il consolidamento di un antico arco in pietra, presuppongono conoscenze e competenze progettuali esecutive molto diverse tra loro.

Non troveremo traccia di concetti di precompressione del calcestruzzo nel trattato De Architectura di Vitruvio, così come non scopriremo ulteriori segreti sulle miscele pozzolaniche negli scritti di Eugene Freyssinet l'inventore appunto della "precontrainte" (fig. 2).

L'architettura moderna non può prescindere dall'impiego del cemento portland così come il restauro architettonico non può trascurare l'utilizzo delle miscele calce pozzolana.

Fig. 2



Leganti profondamente diversi

Nella realtà di mercato la calce aerea e il cemento portland rappresentano gli estremi di una gamma di leganti più ampia, che include anche le calce idrauliche naturali NHL, che possono risultare compatibili con alcuni interventi di restauro.

Le due grandi famiglie di leganti, calce e cementi, dovrebbero essere collocati in ambiti specifici dell'edilizia, dettati dalle proprie caratteristiche chimico fisiche e meccaniche, quindi; restauro alla calce, edilizia al cemento (fig. 3).

Quindi mai il cemento dovrebbe avere un ruolo nel settore del restauro architettonico! Semmai, in un prossimo futuro, sembra che sarà la calce, grazie alle sue straordinarie peculiarità, a penetrare l'edilizia moderna.

A questo proposito, nel sito di una famosa azienda produttrice di calcestruzzo cellulare (i moderni blocchi



The improper use of cement for masonry

Stefano Lancelotti - Edilan



Fig. 1

The whole world's historical and monumental heritage has been constructed and maintained for thousands of years using lime based binders, thus complying with the rules of the art (fig. 1).

In these last decades, at the restoration yards, lime has been replaced by cement with devastating effects.

Respecting the rules of the art in the building sector has a very precise meaning: it is the

proper way to complete a work, according to the rules of a good construction method, but nowadays the mistake is commonly made of taking modern building work based on the use of reinforced concrete for the maintenance and restoration of masonry.

The construction of a huge infrastructural work and the consolidation of an ancient stone arch involve designing knowledge and competence which are very different.

We do not find hints of the concrete pre-compression concept in the De Architectura by Vitruvio, and we will not find out other secrets about the pozzolan blends in the written work by Eugénie Freyssinet, who invented the "precontrainte" (fig. 2).

Modern architecture cannot prevent from using Portland cement and the architectural restoration from using the pozzolan mortar mix.

Very different binders

On the market itself, common lime and Portland cement are at both ends of a wider range of binders, which also includes the NHL natural hydraulic limes, showing to be compatible with some restoration works. These two large binder families, limes and cements should be placed in special building areas, due to their chemical, physical and mechanical characteristics, therefore, lime based restoration and cement based building works (fig. 3).

Cement should never play a role in the architectural restoration sector! Eventually, in the near future, it seems that, due to its extraordinary peculiarities, lime could become the main material for modern building industry. With regard to this, on the website of a well

da costruzione bianchi)), si può leggere questa prescrizione; "...non applicare un intonaco a base cemento su una muratura YTONG. L'intonaco deve essere compatibile con un supporto in calcestruzzo aerato autoclavato.



Fig. 3



known manufacturer of aerated concrete (modern white construction blocks), this warning is found: "...Do not apply a cement based plaster on a YTONG masonry. Plaster should be compatible with a substrate based on autoclave aerated concrete. It is recommended to use lime based plasters". Nevertheless, because of the little attention paid to this problem by designers, constructors and site engineers, but also because of a lacking specific reference directive at nearly all modern building sites working on restoration, maintenance or consolidation of masonry structures, cement and/or cement based products are an overwhelming and devastating matter of fact.

Evident incompatibility

The incompatibility between the historical building materials and Portland cement is caused mainly by potentially hazardous materials (fig. 4). It is about especially the

È suggerito usare gli intonaci a base calce". Tuttavia a causa della scarsa attenzione al problema da parte di progettisti, prescrittori e direttori lavori, ma anche per l'assenza di una specifica normativa di riferimento, nella quasi totalità degli attuali cantieri di restauro, manutenzione o consolidamento di strutture murarie, si rileva l'aggressiva e dannosa presenza di cemento e/o prodotti a base cementizia.

Incompatibilità manifesta

L'incompatibilità tra i materiali dell'edilizia storica ed il cemento portland è determinata soprattutto dalla presenza di componenti potenzialmente pericolosi (fig. 4). Si tratta in particolare delle fasi cristalline di alta temperatura (C₃A, C₄AF) degli alcali e del gesso aggiunto al cemento in fase di produzione come regolatore di presa, che determinano potenziali reazioni

indesiderate a contatto con la muratura tradizionale (tab.1). Inoltre, in presenza d'acqua i composti argillosi presenti nei cementi che entrano in contatto con la vecchia calce, generano per reazione chimica, due sali complessi come la thaumasite e la ettringite, che a temperature inferiori ai 15 C° sono in grado di determinare dirompenti azioni espansive nel supporto murario.

Il ritiro degli intonaci di cemento

Le malte cementizie presentano moduli elastici molto più elevati dei supporti in muratura, in particolare del tufo giallo campano, oltre un significativo ritiro igrometrico in fase di maturazione. Questi aspetti si traducono nella pratica in evidenti quadri fessurativi a "ragnatela". Attraverso queste micro lesioni l'acqua meteorica si infila facilmente espandendosi all'interno della stratigrafia

Fase Phase	Formula Formula	Quantità Content rate	Degrado potenziale Potential degradation
Alluminati tricalcici Tricalcium aluminate	C ³ A	3 - 10%	Reagisce con i solfati e con l'acqua determinando attacco solfatico e causando deterioramento delle malte dei mattoni e delle pietre <i>It reacts with the sulphates and with the water causing the sulphate etching and the deterioration of brick and stones mortars</i>
Tetralcalcium aluminiferiti Tetralcalcium aluminiferous	C ⁴ AF	8 - 10%	Reagiscono con il gesso causando espansioni <i>They react with gypsum causing expansions</i>
Solfati Sulphates	SO ³	2 - 7%	Contribuiscono all'attacco da parte dei solfati <i>They contribute to sulphates etching</i>
Gesso Gypsum	CaSO ⁴	2 - 9%	Soggetto a espansione determina efflorescenze <i>It is subject to expansion causing laitance</i>

Tab. 1



Fig. 4



Fig. 5

e mentre solo una minima quantità migra per evaporazione, evidenziando le lesioni con aloni d'umido, la maggior parte dell'acqua resta immagazzinata all'interno grazie (o a causa) della impermeabilità delle malte cementizie. Con il ciclo gelo/disgelo, l'acqua presente all'interfaccia intonaco/muratura, gela e provoca distacchi dell'intonaco e la disgregazione della pietra di supporto (fig. 5).

I corsi di malta

Nelle vecchie murature, anche soggette a fenomeni di risalita o esposte alle intemperie, i valori di porosità tra conci e corsi di malta, erano sempre a favore delle malte di allettamento rispetto alla pietra e con motivazioni logiche. Infatti, è attraverso le malte dalle fughe più permeabili delle

pietre, che avveniva l'evaporazione delle soluzioni saline, captate per capillarità o da piogge acide.

Si tratta evidentemente di un ciclo "sacrificale" in quanto i depositi salini, attraverso i successivi cicli di cristallizzazione, disgregano la malta e salvaguardano la muratura. Non è raro osservare paramenti storici, in cui si evidenziava l'arretramento per usura del corso di malta rispetto ai conci in pietra.

L'errato attuale impiego di malte cementizie rigide ed impermeabili per la fugatura di conci in pietra, capovolge completamente la situazione; si sposta quindi il ciclo evaporazione/deposito salino/disgregazione dai corsi di malta alla muratura stessa, con il risultato di ottenere murature degradate e corsi di malta sostanzialmente illesi (fig. 6)

I vantaggi della calce

Ma quali e quanti sono effettivamente i vantaggi dell'uso di materiali a base di calce rispetto ai cugini cementizi negli interventi di restauro della muratura? (tab. 2)



high temperature crystal phases (C_3A , C_4AF) of alkali and of gypsum which is added to cement during the manufacturing step as a setting regulator, which cause potential undesired reactions when in contact with traditional masonry (tab. 1). In addition, with the water, clay compounds which are found in cements coming in contact with the old lime, through a chemical reaction, produce two complex salts such as the thaumasite, the ettringite, which at temperatures lower than $15^{\circ}C$ can bring about very strong expansion effects in the wall substrate.

Cement based plasters shrinking

Mortars of cement show an elastic modulus which is much higher than the masonry substrates, particularly than the yellow tufa from Campania as well as a sensible hygrometric shrinkage during the curing step. These occurrences result in the clear

"spiderweb-like" cracking patterns.

Through these micro-crackings, the meteoric water easily seeps through the internal stratigraphy and while only a very small amount of it migrates evaporating, showing the damage with moisture halos, most of it is stored inside because of the mortars of cement impermeability. Because of the freeze-thaw cycle, the water in the plaster/masonry interface, freezes causing the plaster removal, breaking the stone substrate (fig. 5).

Course of mortar

In ancient masonry works, which are also subject to rise or weathering occurrences, the porosity rate between the quoins and the course of mortar, for clear reasons, always

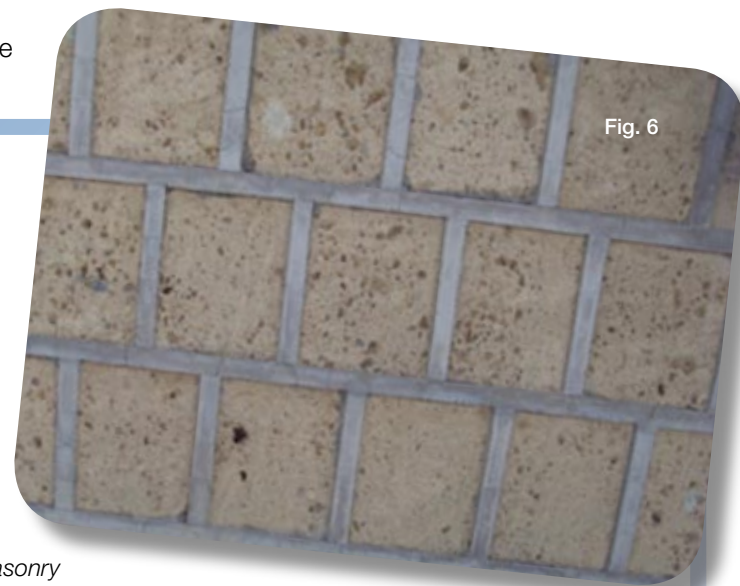


Fig. 6

favoured the bio-mortars over the stone, because the migration of salt solutions, entrapped through the capillaries or by acid rains took place within mortar from the most permeable stone leaking areas. Actually it is a "sacrificial" cycle since the salt deposits, throughout the following crystallization cycles, break the mortar protecting the masonry work. One could

Tab. 2

	Calce Lime	Cemento Cement
Compatibilità con l'edilizia storica (pietre, mattoni) <i>Compatibility with historical building techniques (stones and bricks)</i>	✓	✗
Assenza di alcali solubili <i>No soluble alkali</i>	✓	✗
Ricostruzioni autogene dalle fessure <i>Fissures autogenous reconstruction</i>	✓	✗
Elasticità (modulo elastico) <i>Elasticity (elastic modulus)</i>	✓	✗
Alta resistenza meccanica a compressione <i>High mechanical compression strength</i>	✗	✓
Ritiro idraulico <i>Hydraulic shrinkage</i>	✓	✗
Porosità e traspirabilità <i>Porosity and transpiration</i>	✓	✗
Economia di produzione <i>Manufacturing economy</i>	✓	✗
Resistenza ai solfati <i>Sulphate resistance</i>	✗	✓
Presa rapida <i>Quick setting</i>	✗	✓
Indurimento lento <i>Slow hardening</i>	✓	✗
Ecologia di produzione, di utilizzo, di smaltimento <i>Manufacturing and use ecology, disposal</i>	✓	✗
Versatilità rispetto all'ambiente di utilizzo <i>Versatility in the application environment</i>	✗	✓
Impiego di manodopera altamente specializzata <i>Highly skilled labour force</i>	✓	✗

Le alte resistenze alla compressione delle malte cementizie (350 kg/cm²), risultano inutili su murature che lavorano a circa 15 kg/cm², per sostituire vecchie malte che con resistenze di 25 kg/cm² e moduli elastici compatibili, hanno dimostrato di svolgere egregiamente la loro funzione nel tempo.

La permeabilità al vapore

Tutti i materiali presentano una resistenza al passaggio del vapore acqueo misurata in μ che rappresenta il rapporto tra la resistenza alla diffusione di vapore offerta da uno specifico materiale e la resistenza alla diffusione di vapore offerta dall'aria nelle medesime condizioni ambientali (fig. 7). È necessario specificare che la capacità di traspirazione di ogni materiale non dipende soltanto dalla natura specifica ma anche dallo spessore che il vapore è costretto ad attraversare, più basso è il valore del μ tanto più bassa sarà la resistenza al passaggio al vapore (tab. 3).

Malte da intonaco <i>Plaster mix</i>	Tab. 3 μ
Malta di calce <i>Lime plaster mix</i>	10
Malta di calce e gesso <i>Lime plaster mix and gypsum</i>	20
Malta di calce e cemento <i>Lime plaster mix and cement</i>	20-70
Malta di cemento <i>Cement plaster mix</i>	80-100

ratio of the vapour diffusion strength offered by a specific material and the vapour diffusion resistance offered by the air under the same environment conditions (fig. 7). It is important to underline that the transpiration property of each material does not depend only on the specific nature, but also on the thickness which the vapour have to run through; so, the lower the μ value, the lower the vapour resistance. To these values the specific thickness of any single case is to be added and calculated, although it is clear the definite difference between the transpiration of cement based

frequently observe historical faces showing mar phenomena due to setbacks of the course of mortar compared with the hewn stones. The wrong current use of rigid and water proof cement mortars for the hewn stones grouting changes completely the situation. The evaporation/salt deposit/disgregation cycle thus moves from the courses of mortar to the masonry itself, resulting in deteriorated masonry and essentially undamaged courses of mortar (fig. 6).



Fig. 7

The benefits of lime

How many and which are the benefits offered by the use of lime based materials in comparison with the cement based products in the masonry restoration works? (tab. 2) The high compression strength of cement mortars (350 kg/cm²), are useless on masonries working at about 15 kg/cm², to

replace old mortars which with a strength of 25 kg/cm² and compatible elastic moduli, have shown to accomplish their task successfully over time.

Vapour permeability

All materials show a water vapour resistance which is measured by μ , representing the

A questi valori bisognerà aggiungere e calcolare lo specifico spessore dei singoli casi, ma è già evidente la decisiva differenza di traspirazione tra gli intonaci a base di cemento e quelli a base calce o ibridi.



Fig. 8



Fig. 9

Ossido di calcio
Calcium oxide
 $\mu\text{m} < 80$
p.s. 500 kg/mc
p.a 89%

+

Zeolite
Zeolite
 $\mu\text{m} < 75$
p.s. 800 kg/mc
p.a 67%

=

Calce idraulica
Hydraulic lime
 $\mu\text{m} < 80$
p.s. 650 kg/mc
p.a 85 %

La calce idraulica pozzolanica (HL) della CR & RC

Hydraulic Lime la calce idraulica pozzolanica è il legante moderno in assoluto più corrispondente alle caratteristiche morfologiche degli antichi leganti idraulici dei tempi di Vitruvio (fig. 8). La calce idraulica di natura pozzolanica è prodotta con un esclusivo procedimento di sintesi che racchiude l'unicità del legante;

“...la reazione chimica che avviene per scambio termico tra ossido di calcio, ottenuto da cottura a legna di calcari puri, e opportune quantità di zeoliti naturali Campani ad alto indice idraulico, durante la fase di spegnimento stechiometrico (idratazione), determina un legante altamente reattivo nel tempo” (fig. 9).

Ossido di Calcio o calce viva (CaO), è ottenuto dalla cottura di calcari più o meno puri, a temperatura ambiente si

presenta come solido incolore e inodore con caratteristiche basiche. Poiché proviene da una reazione endotermica è avido di acqua e quando ne viene a contatto, scatena una reazione termica detta propriamente esotermica, trasformandosi in idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Zeoliti sono rocce di origine vulcanica, messe in posto a seguito di eruzioni violente di magmi, con la conseguente



plasters and those which are based on mortar or hybrid materials (tab. 3).

Pozzolan hydraulic lime (HL) by CR & RC

The pozzolan Hydraulic Lime is the modern binder mostly matching the morphological characteristics of the old hydraulic binders since Vitruvius's time (fig. 8).

The pozzolan hydraulic lime is produced using an exclusive synthesis process underlining the unique characteristics of the binder.

“... the chemical reaction taking place through thermal exchange between the calcium oxide obtained by wood baking pure limestone and proper amounts the natural zeolites with high hydraulic rate from Campania, during the stoichiometric quenching (hydration) gives a very reactive binder over time”. (fig. 9)

Calcium oxide, otherwise said quicklime (CaO) is obtained from baked more or less pure limestones at room temperature and

it appears like a colourless and odourless material with basic characteristics. Since it comes from an endothermal reaction it is highly water permeable and when it comes in contact with it, it triggers a thermal reaction which is called exothermic, becoming a calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

The Zeolites are volcanic rocks which have formed following violent volcanic eruptions of magma with the subsequent hardening of the melted magma and the explosive release of compressed gases which give rise to an extremely porous glass microstructure with a high specific surface. Due to their composition and microstructure, the zeolites can react with the lime with the water and at ordinary temperature, they can form products featuring a binding hydraulic-like action, which in the building and decorative sector are commonly known as “pozzolan”. It is necessary to specify that the pozzolan itself, even finely ground, does not harden in contact with water: therefore, it is not a hydraulic binder.

Viceversa, the pozzolan sets and hardens only with the lime and this behaviour, due to complex pozzolan, lime and water interactions is called “pozzolan activity”.

Hydraulic pozzolan powder lime
It is a homogeneous mix obtained from the synthesis of the pozzolan and the hydraulic lime. The hydraulic properties are due in the first case to the reaction products between the pozzolan and the lime (pozzolan activity) and in the second case to the hydration products of the granular scoria started by calcium hydroxide (latent hydraulic activity).

Inert materials (fig. 10)

Conclusions





The good restoration techniques and the architectural restoration art are mainly due to the good practice of complying with the rules, which are simple but well defined and handed

tempra del magma fuso e la liberazione esplosiva di gas compressi che danno origine ad una microstruttura vetrosa estremamente porosa con un'alta superficie specifica. Le Zeoliti sono, per composizione e microstruttura, in grado di reagire con la calce in presenza di acqua e a temperatura ordinaria, formando prodotti dotati di azione legante di tipo idraulico che in edilizia e architettura sono comunemente noti come "pozzolane". È necessario specificare che la pozzolana da sola, anche finemente macinata, non indurisce al contatto con acqua: essa non è quindi un legante idraulico. Viceversa la pozzolana fa presa e indurisce solo in presenza di calce, e

questo comportamento, dovuto ad un complesso di interazioni pozzolana, calce e acqua, è denominato "attività pozzolanica". *Calce Idraulica Pozzolanica in polvere* è una miscela omogenea ottenuta dalla sintesi di pozzolana e calce aerea idrata. Le proprietà idrauliche sono dovute nel primo caso ai prodotti di reazione fra pozzolana e la calce (attività pozzolanica) nel secondo caso ai prodotti di idratazione della scoria granulare attivata alla presenza dell'idrossido di calcio (attività idraulica latente).

Gli inerti (fig. 10)

Fig. 10

			
Zeolite cavata, micronizzata ed essiccata in curva granulometrica da 30 micron a 1 cm (peso sp. secco 800 kg/mc);	Lapillo cavato, macinato e stoccato in curva granulometrica da 0 a 3 cm (peso specifico umido 700 kg/mc);	Basalto macinato e stoccato in curva granulometrica da 0 a 5 cm (peso specifico umido 2.000 kg/mc);	Carbonato di calcio micronizzato, stoccato ed essiccato in curva da 40 micron a 3,5 mm (peso sp. secco 1.700 kg/mc);
Zeolite <i>It is extracted, micronized and dried in a particle size curve ranging from 30 micron to 1 cm (dry specific weight, 800 kg/mc).</i>	Lapillus <i>It is extracted, ground and stored in a particle size curve ranging from 0 to 3 cm (wet specific weight, 700 kg/mc).</i>	Basalt <i>It is ground and stored in a particle size curve ranging from 0 to 5 cm (wet specific weight, 2000 kg/mc).</i>	Calcium carbonate <i>It is micronized, stored and dried within a slope from 40 micron to 3,5 mm (dry specific weight, 1700 kg/mc)</i>

down by the workers to the trainees. These building rules, based on physics, chemistry and mechanics will never be overwhelmed by speculative market actions, by the industrialization or by the simple inaccuracy of professional workers. It would be desirable to see the birth of a specific regulation which forbids the use of masonry cement (fig. 11). Therefore, "keep the cement off the

restoration building site" would be the definite message which should be accepted not only by the construction operators, but also and mainly within the professional and academic world. New suggestions should therefore come just from these categories in view of the birth of new rules on materials being modern but also complying with traditions, confirming what history have been teaching for such a long

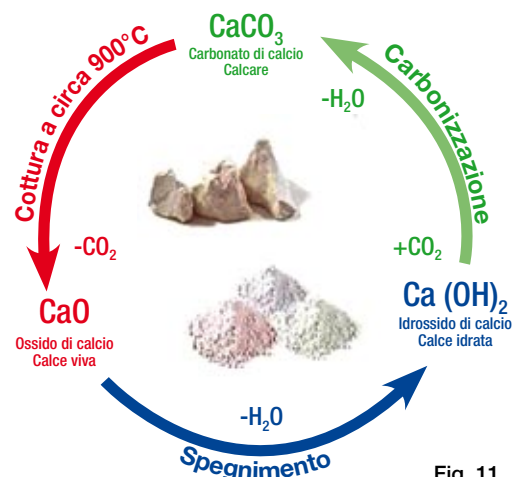


Fig. 11

Conclusioni

Le tecniche del buon restauro, l'arte del restauro architettonico, sono dettate principalmente dal buon senso di seguire le regole, semplici ma ferree, tramandate dai mastri operai ai loro apprendisti. Queste regole edili, dettate dalla fisica, dalla chimica e dalla meccanica, non potranno mai essere sovvertite da logiche di mercato speculative, dall'industrializzazione o dalla semplice disattenzione delle categorie professionali. Sarebbe auspicabile vedere presto la nascita di una normativa specifica che proibisca l'uso del cemento in muratura (fig. 11). Quindi "vietato l'ingresso al cemento nel cantiere di restauro" ecco il messaggio assoluto, che dovrebbe essere recepito non solo dagli operatori edili ma anche e soprattutto dal mondo professionale ed accademico. E da queste categorie che dovrebbero partire gli input per nuove regole su materiali moderni ma rispettosi delle tradizioni, confermando quanto la storia ci ha insegnato nei millenni.

CURRICULUM VITAE

Stefano Lancellotti. Dal 1980 si occupa di consulenza per l'edilizia specializzata al recupero strutturale all'isolamento ed alla manutenzione di strutture in calcestruzzo armato e muratura, riferite ad edifici storici, monumentali, residenziali, industriali e di infrastrutture pubbliche.

Stefano Lancellotti. Since 1980 he has been working as a building consultant for the structural recovery, insulation and maintenance of reinforced concrete and masonry. The work concerns historical, residential, monumental, industrial buildings as well as public infrastructures.