



PROPOSTA DI UN “DISCIPLINARE TECNICO” PER IL “GRASSELLO DI CALCE INVECCHIATO”

C. Polidoro, A. Rattazzi, A. Stracciari, S. Damiola

La Banca della Calce srl, Via Tiarini, 22 – 40129 Bologna



Figura 1

Illustrazione dell'uso della calce in un cantiere rinascimentale.

Figura 2

Spegnimento manuale della calce in bagnolo (metodo aspersione).

1. Premessa

La pratica antichissima, già citata da Plinio il Vecchio e Vitruvio, di invecchiare la calce in fosse scavate nel terreno è rimasta per secoli una procedura che assicurava all'utilizzatore un legante per l'edilizia e per le arti decorative dalle caratteristiche eccezionali. Più lungo era il tempo di maturazione più la calce migliorava nelle sue qualità e più veniva apprezzata [Plinio C.; Vitruvio M. P.]. Il grassello di calce, prodotto con metodi tradizionali, è stato il legante più utilizzato dall'Antichità (Figura 1) all'Era Preindustriale; la sua preparazione (spegnimento a umido di calce viva) richiedeva l'impiego di un congruo eccesso d'acqua e di un tempo adeguato di permanenza in fossa per raggiungere l'idratazione completa dell'ossido di calcio (Figura 2). Nel Novecento la calce idrata in polvere è divenuta il prodotto standard per l'edilizia, sia perché di più facile ottenimento sia per i minori costi di commercializzazione (l'acqua necessaria per impastare la malta viene aggiunta solo a piè d'opera). Anche se entrambi i prodotti, grassello di calce e calce idrata in polvere, hanno la medesima formula chimica (idrossido di calcio), le loro caratteristiche chimico-fisiche differiscono significativamente; in particolare le proprietà reologiche e quelle meccaniche che, nel caso di un grassello tradizionale, risul-

tano sempre superiori rispetto quelle di una calce idrata in polvere. Mentre il grassello prodotto tradizionalmente subisce un miglioramento rilevante con il protrarsi del periodo di maturazione, una pasta di calce idrata ottenuta per aggiunta di acqua alla calce idrata, lasciata a riposare nelle medesime condizioni e per lo stesso periodo di tempo, non mostra alcun miglioramento significativo. Di conseguenza, le malte formulate con calce idrata in polvere, o pasta di calce idrata non sono in grado di raggiungere i livelli di lavorabilità, velocità di carbonatazione, sviluppo delle resistenze meccaniche e durabilità raggiunte utilizzando grassello di calce prodotto con spegnimento a umido e lungamente invecchiato.

Oggi, purtroppo, il processo di stagionatura è stato quasi annullato: la pasta di calce idrata, commercialmente venduta come grassello, viene prodotta e subito immessa sul mercato in sacchi di polietilene, chiamati in gergo 'maialini'. Alcune aziende immettono sul mercato sacchi recanti la dicitura 'grassello invecchiato', ma il prezzo richiesto per un prodotto di cui si dichiara, senza dimostrarlo, di conoscere l'età appare spesso ingiustificato, soprattutto se non sono resi noti i dati tecnici oggettivi che possano attestare l'effettiva qualità e tantomeno l'effettivo invecchiamento.

2. Cambiamenti microstrutturali del grassello di calce nel tempo

Alla luce dei più recenti studi scientifici, il grassello di calce può essere considerato a tutti gli effetti un 'nanomateriale', poiché costituito in buona parte da particelle (cristalli di portlandite) le cui dimensioni sono dell'ordine del miliardesimo di metro.

Questa caratteristica risulta ancor più evidente quanto maggiore è il tempo di maturazione a cui è sottoposto: i risultati delle ricerche degli ultimi anni permettono infatti di affermare come la formazione di 'nanocalce' sia connessa alle variazioni microstrutturali dei cristalli di idrossido di calcio (portlandite) indotte dall'invecchiamento a cui viene sottoposto il grassello [Rodríguez-Navarro, 1998-2005].

La portlandite, che si forma a seguito dello spegnimento, ha inizialmente un abito prismatico e dimensioni prevalentemente maggiori di 0.2 μm e si trova dal punto di vista termodinamico in una condizione di 'non equilibrio'. Nel tempo, questo sistema cristallino tende a dunque evolversi molto lentamente verso uno stato di maggiore stabilità, generando formazioni submicroniche, non più prismatiche ma di abito tabulare (lamellare). La trasformazione avviene tramite la dissoluzione preferenziale delle facce prismatiche rispetto a quelle pinacoidi e la successiva ricristallizzazione eterogenea della portlandite in minutissimi cristalli submicrometrici tabulari, più stabili, che si formano come protrusioni sulle facce prismatiche in dissoluzione.

I cristalli tabulari submicronici e nanometrici di neoformazione, presenti solo nel grassello di lunga stagionatura, hanno la capacità di adsorbire una maggiore quantità d'acqua rispetto ai più grossi cristalli prismatici di prima formazione e di ridurre l'attrito interno del sistema conferendo al grassello quelle caratteristiche reologiche, già note agli Antichi: plasticità, lavorabilità, resa e durabilità ne hanno fatto nei secoli un materiale di straordinario valore.

3. I pregi grassello di calce invecchiato

Le trasformazioni a carico dei cristalli di portlandite prodotte dall'invecchiamento contribuiscono dunque ad un sensibile miglioramento della qualità del grassello di calce. Le dimensioni delle particelle e la loro forma sono estremamente importanti nell'influenzare le proprietà finali, in particolare, la plasticità del grassello è fortemente dipendente dall'abbondanza di particelle submicroniche di portlandite di forma tabulare. I piccoli cristalli tabulari di seconda formazione, tipici del grassello di calce invecchiato, mostrano una spiccata tendenza a trattenere l'acqua. Questa proprietà contribuisce al noto incremento di caratteristiche quali plasticità, ritenzione e lavorabilità, requisiti indispensabili che rendono le malte, le tinte e più in generale tutti i prodotti a base di grassello di calce eccellenti per prestazioni e durabilità. Inoltre, la piccola dimensione delle particelle e la loro elevata estensione superficiale determinano una migliore velocità di carbonatazione e un più consistente 'impacchettamento' dei cristalli (in origine portlandite, poi calcite) che contribuiscono all'incremento delle resistenze meccaniche una volta in opera. Questi fenomeni sono stati indagati solo in tempi molto recenti [Cazalla, 2000; Rodríguez-Navarro, 2002] osservando la carbonatazione di varie tipologie di grasselli invecchiati o meno attraverso moderne tecniche di laboratorio e test routinari come quello della fenofaleina. I risultati di questi lavori dimostrano che negli impasti ottenuti con paste idrate di bassa qualità e grasselli poco invecchiati la carbonatazione procede lentamente a partire dalla superficie esposta in modo uniforme seguendo un cammino diffusivo lineare; viceversa negli impasti preparati con grasselli spenti con metodi tradizionali invecchiati almeno un anno, la carbonatazione si sviluppa più rapidamente e privilegiando un complesso cammino diffusivo non lineare che porta ad un'intensa e periodica precipitazione spazio-temporale di calcite in forma di anelli di Liesegang caratterizzati da un'alternanza di anelli concentrici ricchi di calci-

te e di anelli concentrici ricchi di portlandite (figura 4). Questo particolare tipo di precipitazione, che ha luogo solo nelle malte formulate con grasselli invecchiati a lungo e non in altri casi, non può che essere collegata alla particolare microstruttura, ossia alla più alta superficie specifica e alla migliore solubilità dei cristalli nanometrici di portlandite presenti nei grasselli di 12 mesi e oltre, come pure alla loro alta capacità di ritenzione dell'acqua che favorisce una rapida carbonatazione. Si può pertanto affermare che la carbonatazione che si compie nelle malte di grassello di buona qualità e che ha riposato molto tempo in fossa, con il meccanismo di formazione degli anelli di Liesegang, decorre più velocemente e più estesamente, permettendo alle malte di raggiungere prestazioni meccaniche migliori e in tempi più brevi (figura 5). Le evidenze scientifiche confermano sostanzialmente la correttezza dell'antica regola romana, dettata da Plinio e ripresa da tutti i trattatisti, che stabiliva che prima di essere impiegata come materiale da costruzione, la calce (grassello) doveva invecchiare sott'acqua per almeno tre anni.

4. Il grassello e la normativa sulla calce

Temi come quello dell'invecchiamento del grassello, della certificazione di processo e di prodotto e della qualità sono importantissimi e meritano di essere affrontati in modo rigoroso e qualificato, soprattutto da coloro che spingono verso una nuova diffusione della calce in edilizia. La normativa attuale in materia di calci da costruzione (UNI EN 459-1:2010) classifica le diverse tipologie di calce soltanto in base a dati chimici e fisico-meccanici. Queste norme, che contemplano tutte le calci da costruzione (aeree e idrauliche) mostrano purtroppo una marcata disattenzione verso le caratteristiche intrinseche della calce aerea. Particolarmente trascurato, se non quasi ignorato, risulta essere proprio il grassello, la forma più 'nobile' della calce, citato semplicemente come 'varietà commerciale' della calce idrata, nulla

più! Nella UNI EN 459-1:2010, le calci aeree, in polvere e/o in pasta, sono classificate su base di pochi parametri chimici (contenuto in ossido di calcio e ossido di magnesio) e/o fisico-meccanico (prove di stabilità dopo lo spegnimento, finezza). Nessuna menzione è fatta ad esempio circa il comportamento reologico che, viceversa, è preso in grande considerazione dalla normativa americana ASTM per distinguere calci aeree di qualità normale (N) o speciale (S), basandosi su test di plasticità e ritenzione d'acqua [ASTM C110-96a]. Nel nostro Paese, dove l'offerta commerciale di grassello di calce è molto varia, non ci sono norme e/o raccomandazioni cui fare riferimento in tal senso.

La letteratura scientifica offre invece una cospicua quantità di ricerche e dati che consentono di apprezzare le differenze tra grasselli di calce di qualità diverse. Rispetto all'invecchiamento, gli studi confermano l'influenza della maturazione del grassello di calce sulla qualità finale del prodotto, in virtù delle già citate importanti trasformazioni morfologiche a carico dei cristalli di idrossido di calcio. In mancanza di una procedura standard di valutazione dei prodotti in commercio qualificati come 'grassello di calce' e per far fronte alle lacune della normativa, la Banca della Calce¹ ha elaborato un Disciplinare Tecnico che si applica alle produzioni di grassello di calce soggette ad invecchiamento e che specifica le condizioni generali e particolari relative al rilascio di un Certificato di Invecchiamento. Tramite l'adesione volontaria a tale sistema di certificazione, le fornaci e le aziende produttrici di calce (figura 6) possono qualificare la propria produzione e offrire ai propri clienti l'unica attestazione di invecchiamento del grassello di calce attualmente disponibile sul mercato nazionale e internazionale.

5. Il Disciplinare Tecnico del 'Grassello di Calce Invecchiato'

Il Disciplinare Tecnico pubblicato da la Banca della Calce è in

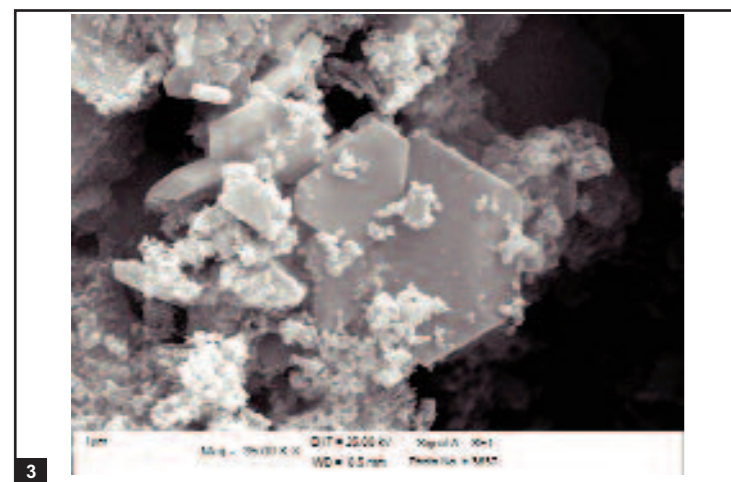


Figura 3
Cristalli di portlandite, osservati al microscopio elettronico a scansione (SEM).

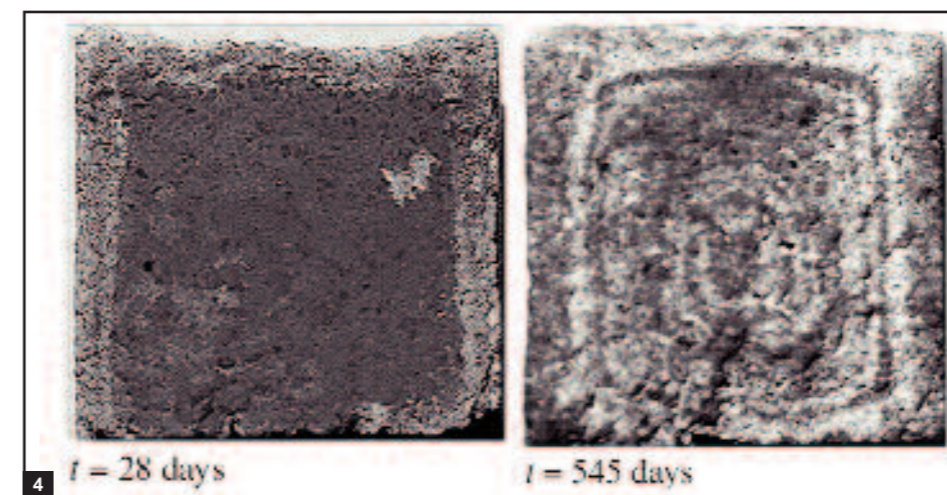
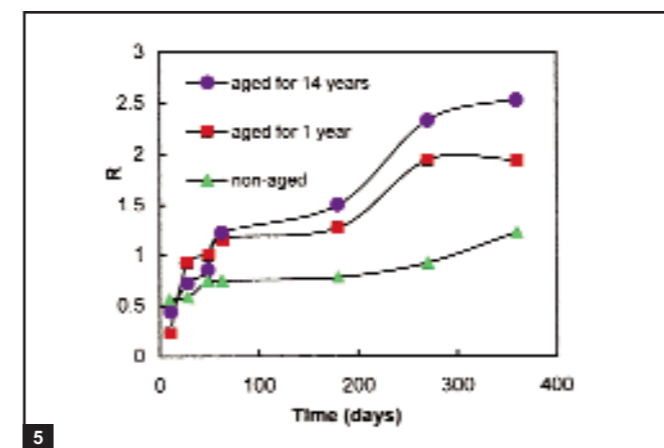


Figura 4
Anelli di Liesegang su provini di malte formulate con calce di 28 giorni e Grassello di Calce Invecchiato 24 mesi [Rodríguez-Navarro, 2002].

Figura 5
Grado di carbonatazione in funzione del tempo per campioni malte formulate con Grassello di Calce non invecchiato, invecchiato 1 anno, invecchiato 14 anni [Elert et al., 2002].

Figura 6
Fosse di invecchiamento del grassello (Fosse della calce).



PROPOSAL OF A TECHNICAL SPECIFICATION FOR THE AGING OF LIME PUTTY

It is well known since Antiquity that to produce a quality lime putty is essential to subject it to prolonged aging in the pit. The existing legislation is inadequate for building limes especially against the 'putty', the most valuable form of lime, for which there is not a procedure that can enhance the product aged than just slaked. Now, partly because of a tangible inadequate legislation, no Italian or foreign manufacturer offers warranties on the aging time of the lime putty and, at the same time, the maturation is increasingly a requirement in the specifications drawn up by high level customers and Superintendencies of Cultural Heritage. In this regard has been prepared by the Bank of Lime a technical specification that applies to the production of lime putty subject to controlled aging, which specifies the general and special conditions for issuing the Certificate of Aging.

vigore da giugno 2010 e definisce i requisiti per la certificazione del 'Grassello di Calce Invecchiato'. Il controllo della conformità ai requisiti espressi dal Disciplinare è delegato ad un Organismo di Controllo esterno che funge da soggetto terzo ed indipendente. Nel Disciplinare Tecnico si definisce, prima di tutto, il termine 'Grassello di Calce Invecchiato' come 'il prodotto della cottura di calcari puri, seguita dallo spegnimento della calce viva con opportuno eccesso di acqua e, successivamente, dalla prolungata maturazione in ambiente anaerobico (non a diretto contatto con l'aria)². La certificazione si applica a produzioni di calce preparate nel rispetto del DPR 246/93 relativo all'attuazione della Direttiva 89/106/CEE e in conformità alla norma UNI EN 459-1:2010, che siano sottoposte ad un minimo di 12 mesi di invecchiamento.

5.1 Iter di certificazione

Il Disciplinare prevede inizialmente una fase di accreditamento in cui l'azienda produttrice richiede di essere riconosciuta come 'Deposito della Calce', dichiarando di disporre di 'Fosse della Calce', strutture (vasche, silos, ecc.) idonee allo stoccaggio prolungato del grassello in condizioni anaerobiche. Una volta accreditato il Deposito della Calce vengono individuati i lotti di grassello da sottoporre a certificazione, specificando per ciascuno il tempo di invecchiamento previsto. La definizione dei lotti si concretizza con il riempimento delle Fosse della Calce, con grassello di calce appena spento e di qualità omogenea. Successivamente, l'Organismo di controllo esegue la sua verifica ispettiva e provvede al prelievo dei campioni di grassello da sottoporre alle prove di laboratorio iniziali (figura 7). Accertata l'adeguatezza delle condizioni di stoccaggio, si passa alle operazioni di sigillatura delle Fosse della Calce (figura 8). Durante il periodo di invecchiamento, con frequenza mensile, viene verificato il rispetto delle condizioni di tenuta e di anaerobicità delle Fosse della calce, l'assenza di contaminanti e l'eventuale manomissione dei dispositivi di sigillatura, riportando l'esito dei controlli su un apposito Registro di Invecchiamento. L'Organismo di Controllo esegue inoltre visite ispettive con frequenza almeno annuale ad ulteriore garanzia del rispetto del Disciplinare Tecnico. Al termine del periodo di invecchiamento stabilito per ciascun lotto, l'Organismo di Controllo procede alla rimozione dei sigilli della fossa della calce, contestualmente si prelevano i campioni da sottoporre alle prove di laboratorio finali. Solo una volta accertata la conformità del lotto di grassello di calce ai requisiti dettati dal Disciplinare Tecnico viene rilasciato il 'Certificato di Invecchiamento' (figura 9). L'azienda provvede al confezionamento del materiale e appone sulle confezioni le etichette identificative e il marchio che ne attestano i mesi d'invecchiamento in fossa (figura 10).

5.2 Le prove di laboratorio

Le analisi di laboratorio previste dal Disciplinare consistono nella rilevazione delle variazioni di parametri chimico-fisici del grassello

di calce nel tempo. Il protocollo analitico si basa sugli esiti della più recente ricerca scientifica e prevede l'esecuzione di prove, ad inizio, a fine del processo e con cadenza annuale in caso di invecchiamento superiore ai 12 mesi. Questi i parametri periodicamente monitorati:

Analisi morfologica dei cristalli di portlandite - L'incremento dell'abbondanza di cristalli tabulari di portlandite con passare del tempo viene valutato mediante la tecnica XRD, osservando l'aumento di intensità relativo del picco corrispondente ai piani basali della portlandite.

Area superficiale specifica - La trasformazione dell'abito cristallino della portlandite, da prismatico a tabulare, e la conseguente riduzione dimensionale delle particelle con la stagionatura determina un significativo incremento dell'area superficiale specifica. La determinazione di questa grandezza sperimentale è effettuata mediante l'analisi BET basata sull'adsorbimento di azoto (N₂) per unità di massa del materiale.

Viscosità dinamica - La viscosità dinamica del grassello di calce dipende innanzitutto dal contenuto di sostanza solida, ma è fortemente influenzata dalla forma e le dimensioni dei cristalli di portlandite. La viscosità passando da un prodotto "fresco" ad un grassello adeguatamente stagionato aumenta sensibilmente. Per le misure si adotta un rotoviscosimetro tipo Brookfield.

Contenuto solido - Il grassello di calce è un materiale ottenuto dallo spegnimento dell'ossido di calce con un eccesso di acqua, pertanto, la stima della percentuale di sostanza solida contenuta in una confezione commerciale è il dato indicativo della quantità effettiva di prodotto realmente disponibile per scopi applicativi. La determinazione viene condotta per via gravimetrica.

Indice di bianchezza - Il colore, in particolare il valore di luminosità, della calce è direttamente legato al contenuto di impurità presenti nel calcare di partenza. Esso rappresenta uno dei parametri che maggiormente influenza la scelta di un prodotto rispetto ad un altro, soprattutto se destinato alla formulazione di pitture, stucchi e marmorini. Le misure vengono effettuate via spettrofotometrica.

5.3 La consultazione pubblica

Per divulgare i dettagli del Disciplinare Tecnico e accrescere il valore scientifico di questa proposta, la Banca della Calce ha condotto una fase di consultazione pubblica, coinvolgendo università, soprintendenze, enti di ricerca, produttori, progettisti ed imprese edili e di restauro. I contributi ricevuti dai soggetti interessati sono stati integrati nella stesura definitiva del documento finale che è corredato dalle manifestazioni d'interesse espresse. La consultazione si è conclusa a ottobre 2010, con la raccolta di 25 'pareri favorevoli' e altrettante 'manifestazioni d'interesse'. Per gli operatori del restauro, particolarmente esigenti nella scelta dei prodotti, il Disciplinare Tecnico è stato recepito come uno strumento in grado di garantire con maggiore attendibilità la qualità



Figure 7 e 8 Operazioni di campionamento e sigillatura delle Fosse della Calce eseguite dall'Organismo di Controllo.

del grassello. Imprese e aziende produttrici di materiali per l'edilizia hanno mostrato fiducia nel progetto e sono convinte che un documento simile aiuti a regolamentare l'offerta sul mercato del grassello in relazione alla qualità del prodotto. Distributori di materiali hanno altresì risposto con interesse alla possibilità di disporre di grassello di calce certificato. Alcune osservazioni sono state avanzate in merito alla complessità dell'elaborato ed ai tecnicismi utilizzati, mentre un solo interlocutore tra quelli interpellati ha espresso perplessità sull'impegno richiesto alle imprese per attuare il sistema di certificazione. La prossima revisione del Disciplinare Tecnico terrà conto di queste preziose indicazioni.

6. Conclusioni

6.1. Vantaggi per il produttore

Obiettivo primario del Disciplinare Tecnico elaborato da la Banca della Calce è quello di fornire ai produttori di calce uno strumento in grado di valorizzare il proprio sistema di produzione. La marcatura CE, obbligatoria per legge, conferisce alla calce una presunzione di idoneità per gli impieghi previsti in edilizia, ma i requisiti contemplati dalla legge non costituiscono elementi sufficienti per differenziare il Grassello di Calce Invecchiato (certificato) da un omonimo prodotto, ad esempio pasta di calce spenta da poche settimane. Il progressivo aumento della richiesta di grassello di qualità da parte dei consumatori obbliga a riflettere, dunque, su un sistema di certificazione, come valido mezzo a disposizione dei produttori per garantire al proprio cliente il rispetto delle regole di invecchiamento. La conformità ai requisiti del Disciplinare Tecnico offre al produttore l'opportunità di

utilizzo del Certificato d'Invecchiamento: un efficace strumento per rafforzare la propria immagine, che valorizza le caratteristiche dei propri prodotti, trasmettendo, allo stesso tempo, fiducia ai propri clienti.

6.2 Vantaggi per l'utilizzatore

Come è già stato sottolineato, i grasselli di calce non sono tutti uguali, anzi, buona parte di quelli presenti sul mercato evidenziano alcune criticità sotto il profilo chimico-fisico-reologico. Il sistema di certificazione della Banca della Calce permette all'utilizzatore di riconoscere e di scegliere la calce migliore e più adatta alle proprie esigenze, siano queste inerenti al mondo del restauro, dell'edilizia tradizionale e della bio-architettura. Il rispetto delle procedure di invecchiamento sono infatti sinonimo di qualità, sicurezza e affidabilità. Il grassello di calce è un materiale nobile, destinato a lavorazioni di pregio, pertanto, la finalità di Disciplinare Tecnico è quella di fornire prima di tutto 'conoscenza' della qualità del materiale che ci prestiamo ad utilizzare. Il sistema di tracciabilità previsto dal disciplinare stesso consente inoltre all'acquirente di verificare la provenienza di ogni confezione privilegiando i concetti di regionalizzazione e di legame tra architettura e territorio.

6.3 Prospettive future

La carenza normativa in materia di calce aerea da costruzione è uno dei motivi che hanno portato all'elaborazione di un sistema volontario per il controllo dell'invecchiamento del grassello. È auspicabile che la validità di quanto proposto dal Disciplinare



Figura 9 Modello di Certificato di Invecchiamento del grassello di calce.

Figura 10 Modello di etichetta delle confezioni di grassello di calce invecchiato certificato.



Tecnico d'invecchiamento porti all'adozione di standard adeguati anche all'interno di future normative italiane e europee. Per il momento il Disciplinare rappresenta una straordinaria opportunità offerta dalla Banca della Calce ai produttori, agli utilizzatori ed agli estimatori del grassello di calce. In primo luogo per la possibilità di disporre di un prodotto di pregio, il solo dotato di certificazione che ne attesta l'effettiva stagionatura. In secondo luogo, perché l'invecchiamento della calce, proprio in virtù delle migliori caratteristiche, determina un forte incremento del valore prestazionale (e commerciale) dei prodotti finali come malte, intonaci, pitture ecc. Infine perché i Depositi della Calce presen-

ti sul territorio italiano rendono il grassello più facilmente disponibile a livello locale, incoraggiando politiche di filiera produttiva a 'km 0' e favorendo un processo di riacquisizione della conoscenza della millenaria 'cultura della calce' del nostro Paese.

Il progetto della Banca della Calce si fonda sulla convinzione che un sistema di certificazione, contestuale al rinnovato interesse generale verso la calce cui stiamo assistendo, condurrà ad una sempre maggior diffusione del grassello di calce all'interno dei cantieri edili e di restauro, innescando un processo virtuoso grazie al quale si potrà disporre di un prodotto di maggiore qualità e a prezzi più competitivi.

NOTE

¹ La Banca della Calce srl è una realtà nata a Bologna nel 2009 con l'obiettivo di "custodire" materia e memoria della calce italiana da costruzione, da utilizzare per le opere di architettura e restauro, nel rispetto di rigorosi protocolli di produzione e di stagionatura. L'impresa progetta, realizza e gestisce i Depositi della Calce, strutture analoghe alle antiche "buche", che rendono disponibili lotti di grassello di calce invecchiato certificato.

² Ai sensi di tale disciplinare non è considerato 'grassello di calce' il prodotto ottenuto dall'aggiunta di acqua alla calce idrata in polvere (pasta di calce idrata).

BIBLIOGRAFIA

ASTM (American Society for Testing and Materials). *Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime, and limestone*. C 110-96a, ASTM, West Conchohocken, 1997

CAZALLA O., RODRIGUEZ-NAVARRO C., SEBASTIAN E., CULTRONE G., DE LA TORRE M.J., *Aging of lime putty: effects on traditional lime mortar carbonation*, J. Am. Ceram. Soc. Vol. 83, No. 5, May 2000

ELERT, K., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., SEBASTIAN-PARDO, E., HANSEN, E. AND CAVALLA, O., *Lime mortars for the conservation of historic buildings*. Studies in Conservation, 47, No. 1, pp. 62-75, 2002

HANSEN E. et AL., *Variations in lime mortar properties resulting from the use of freshly slaked quicklime, aged slaked lime, and commercial dry hydrated lime*. Proceedings of International Building Lime Symposium. March 9-11 2005

PLINIO C., *Naturalis historia*. Giardini Editore, Pisa, 1984

RODRIGUEZ-NAVARRO C., HANSEN E., GINELL W.S.: *Calcium hydroxide crystal evolution upon aging of lime putty*, J. Am. Ceram. Soc. Vol. 81, pp. 3032-4, 1998

RODRIGUEZ-NAVARRO, CAZALLA O., ELERT K.: *Liesegang pattern development in carbonating traditional lime mortars*. Proc. of the Royal Society, Vol. 81, pp. 3032-3034, 2002

RODRIGUEZ-NAVARRO C., RUIZ-AGUDO E., ORTEGA-HUERTAS M., HANSEN E.: *Nanostructure and irreversible colloidal behaviour of Ca(OH)₂: implication in cultural heritage conservation*. Langmuir, 21 (24), 2005

VITRUVIO MARCO POLLIONE, *De architectura*, a cura di L. Migotto, Pordenone, Studio Tesi, 1992

PROFILO AUTORI

Dott. Costantino Polidoro: socio fondatore de la Banca della Calce Srl.

Si è laureato in Chimica nel 2002 presso l'Università "La Sapienza" di Roma ed è iscritto all'Ordine Interregionale dei Chimici LUMA. In qualità di esperto scientifico per la conservazione dei Beni Culturali, ha svolto attività di consulenza per enti pubblici e privati nell'ambito di progetti di ricerca archeologica e di restauro. È titolare del corso di laurea in "Chimica dell'ambiente e dei Beni Culturali" presso l'Università D'Annunzio-UNIDAV di Chieti. Dal 2008 è membro del Consiglio Direttivo del Forum Italiano Calce.

Prof. Andrea Rattazzi: presidente de la Banca della Calce Srl. Laureato nel 1991 in Scienze Geologiche, è iscritto all'Ordine dei Geologi del FVG. Nel settembre 2007 ha fondato il Forum Italiano Calce, associazione di cui è Presidente. Dall'anno accademico 2001, è professore presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Bologna e, dal 2008, docente presso Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio del Politecnico di Milano. Come Esperto Scientifico, fa parte di commissioni tecniche istituzionali, UNI Beni Culturali e svolge attività di consulenza per Procure e Tribunali.

Ing. Arabella Stracciari: socio fondatore de la Banca della Calce Srl. Si è laureata nel 2002 in Ingegneria Edile, presso l'Università di Bologna ed è iscritta all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Bologna.

Si occupa di progettazione architettonica e strutturale, con particolare interesse per l'utilizzo di tecnologie eco-compatibili.

Geom. Stefano Damiola: imprenditore, gestisce un'impresa di costruzioni particolarmente attenta alla qualità degli interventi di recupero. Dal 2008 è membro del Consiglio Direttivo del Forum Italiano Calce.