



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura



Terra, Fuoco, Acqua, Aria:

LA CALCE



Esperienze di restauro e conservazione

AhRCOS[®]
RESTAURO e CONSOLIDAMENTO
since 1963

 **labanca della calce**[®]

la calce parte da qui

Ai miei nonni, ai miei genitori e ai miei figli.

Alessandro Battaglia

A mio padre e mia madre.

Vassilli Kafetsis

Terra, Fuoco, Acqua, Aria:

LA CALCE

Gli autori desiderano ringraziare
sentitamente tutto lo staff della AhRCOS Srl,
una delle poche realtà in cui ancora conta la qualità del fare.

In collaborazione con:



la calce parte da qui

Con il patrocinio di:



INDICE

PREFAZIONE a cura di Alessandro Battaglia	1
PREFAZIONE a cura di Enrico Quagliarini	5
1. I QUATTRO ELEMENTI	7
1.1. Terra, fuoco, acqua, aria	7
1.2. L'epoca prima del cromo e le sue meraviglie	9
1.3. Il colore della materia	13
1.4. Sabbie, materia e luoghi	14
1.5. I Leganti	17
1.6. La reattività delle sabbie, la grana ed il colore di fondo	19
2. LA CALCE NELLA STORIA	23
2.1. Preistoria	23
2.2. Egizi	25
2.3. Greci	26
2.4. Romani	27
2.5. Medioevo	30
2.6. Ottocento	32
2.7. Novecento	36
3. IL CICLO DELLA CALCE	37
3.1. Il processo	37
3.2. La raccolta	38
3.3. I quattro momenti della calce	39
4. LE CALCI	43
4.1. La calce aerea	43
4.1.1. La calce idrata in polvere	44
4.1.2. La calce idrata in pasta	44
4.1.3. Il grassello di calce	45
4.2. La calce idraulica	47
4.2.1. Calce magnesiana	48
4.2.2. Calce Idraulica (HL) o Calce Idraulica Naturale (NHL)	51
4.2.3. La Norma UNI EN 459-1:2001	52
5. LA CALCE E LE COSTRUZIONI	55
5.1. La calce in architettura	55
5.2. Le malte	55

5.2.1.	Malte di calce: aeree o idrauliche	56
5.2.2.	Malte ordinarie (aeree)	57
5.2.3.	Malte idrauliche (di calce aerea)	68
5.2.4.	Malte idrauliche (di calce idraulica naturale)	69
5.2.5.	Malte “porcellane”	60
5.2.6.	Malte deumidificanti	61
5.2.7.	La normativa sulle malte	62
5.3.	Gli intonaci	63
5.3.1.	Gli intonaci a calce	64
5.3.2.	Esecuzione dell’intonaco	64
5.3.3.	Graffito o sgraffito	68
5.4.	Calcestruzzi	68
5.5.	Stucchi e Marmorini	70
5.5.1.	Stucchi	70
5.5.2.	Marmorini	70
5.6.	Tinte a calce	74
5.6.1.	Le proprietà ottiche della calcite e delle tinte a calce	75
5.6.2.	Il colore della calce	77
5.7.	Il cocchiopesto	81
5.8.	La sagramatura	83
5.9.	I tonachini colorati	84
5.10.	Affresco	86
5.10.1.	Cenni sulla tecnica dell’affresco	87
5.10.2.	I colori compatibili con la pittura a fresco	88
5.10.3.	Come riconoscere un affresco da una pittura a secco	91
6.	LA CALCE NEL RESTAURO	93
6.1.	Calce vs cemento	93
6.1.1.	Calce o cemento: vantaggi e svantaggi	95
6.1.2.	Incompatibilità tra i materiali dell’edilizia storica e il cemento	96
6.1.3.	Quale calce in un opera di restauro	97
6.1.4.	Le varianti della calce	98
7.	LA NORMATIVA	107
7.1.	UNI EN 459-1:2002 – Calci da costruzione	108
7.2.	Decreti Legge e Decreti Ministeriali	110
8.	GLOSSARIO	113
9.	POSTFAZIONE a cura di Alessandro Battaglia	121
10.	POSTFAZIONE a cura di Vassili Kafetsis	125

PREFAZIONE

History and tradition

Nell'antichità era radicata la convinzione aristotelica che la materia fosse composta da quattro elementi: terra, aria, acqua e fuoco. Oggi queste quattro parole nella loro forma fisica non possono far altro che farmi pensare alla calce.

La storia personale e quell'impresa di cui faccio parte mi riconducono a materiali di altri tempi con la consapevolezza che scendendo nel dettaglio un materiale così plasmabile ci condurrà sempre di più verso una trasformazione della materia adattando sia all'utilizzo della mano che la muove sia alla forma finale che abbiamo deciso di dare alla stessa.

Personalmente essendo impegnato nel restauro di opere del passato, credo che una cultura su un materiale talmente nobile è un indispensabile bagaglio di conoscenza e AhRCOS S.r.l. ha da sempre raccolto, campionato sperimentato, ed utilizzato in cantiere una grande varietà di calci, commerciali e non, al fine di poter accrescere la propria conoscenza diretta sulla "materia" per antonomasia.

AhRCOS S.r.l. ha una specifica sessione del proprio staff dedicata allo studio della calce e alle innovazioni tecnologiche derivanti, da utilizzare per migliorare i propri processi produttivi e crearne di nuovi. Tutta questa ricerca ha avuto un'importanza fondamentale in questo processo conoscitivo.

Questo testo presenta i concetti fondamentali sulla calce ed i relativi utilizzi, sulle modalità applicative e sulla realizzazione della materia. Il testo nasce da esperienze personali dirette e da vari articoli, con la collaborazione speciale degli amici del forum italiano calce e altri e non vuole essere un testo didattico ma una specie di introduzione ad un mondo di conoscenza della "materia" calce, conoscenza che con il passare dei tempi e lo sparire di certe professionalità, si sta affievolendo.

L'utilizzo della calce invece deve essere mantenuto centrale nei progetti di restauro come lo è nelle politiche della ns. impresa di Restauri, personalmente ritengo necessario investire all'interno delle proprie risorse umane per poter

trasmettere con passione questa tradizione e questo patrimonio, nel rispetto delle qualità ed dei limiti del materiale stesso e identificando le sinergie possibili con altri prodotti tecnologicamente più avanzati.

Intervenire nei cantieri in situazioni limite e delicate con la certezza di operare bene è possibile solo grazie alla costante ricerca finalizzata al miglioramento continuo dei processi con il consequenziale risultato di selezionare le materie di base con cui operare.

La ricerca e lo sviluppo costante ci consente ad oggi di adottare sistemi e tecnologie proprie in grado di garantire il miglior intervento possibile su una struttura di pregio. Queste rivestono per noi massima importanza essendo a conoscenza dell'impatto rilevante che la nostra attività ha sul contesto culturale delle comunità locali, nazionali ed internazionali. Risulta quindi indispensabile legittimare il nostro operato fondandolo sui principi di rispetto del bene oggetto di restauro e consolidamento, qualità che solo grazie alla sperimentazione continua e alla grande cultura del passato possono portare Restauri Innovativi Tecnologici ad essere una delle più qualificate aziende italiane per il restauro conservativo su strutture storiche oltre al consolidamento e l'adeguamento sismico.

L'attenzione costante, l'impegno sempre maggiore e l'esperienza acquisita nei cantieri e nei laboratori ci pongono come punto di riferimento per il restauro conservativo. Ad oggi siamo in grado di fornire consulenza e diagnostica a 360 gradi, in sinergia con le Università indichiamo le corrette procedure da adottare. I tecnici, i restauratori e le maestranze di cui è composta Restauri Innovativi Tecnologici, possiedono qualifiche professionali adeguate ed un bagaglio culturale costantemente aggiornato attraverso formazione sia teorica che pratica. I numerosi cantieri portati a termine, ci hanno permesso di raggiungere una perfetta autonomia in tutte le operazioni fondamentali per l'esecuzione del restauro a regola d'arte, con la messa a punto di procedimenti che hanno permesso di coniugare un'alta qualità, certezza dei risultati, sicurezza dell'intervento. La ricerca e lo studio, oltre all'esperienza diretta acquisita, ci hanno permesso di sviluppare un quadro preciso e dettagliato dei diversi tipi di degrado ai quali le strutture sono soggette. La conoscenza di tecniche tradizionali, unitamente alla costante ricerca e sperimentazione delle più aggiornate modalità di intervento, ci consentono di lavorare nel pieno rispetto della natura e della conservazione del bene. Consci delle responsabilità e dell'impegno del nostro lavoro, ed in accordo con la teoria del restauro, improntiamo la nostra attività ricercando le cause del degrado, eliminandole e ripristinando le originali caratteristiche meccaniche della struttura o addirittura incrementandole se necessario.

Gli interventi che si operano sui beni culturali e sui manufatti dell'edilizia storica necessitano di una profonda conoscenza delle vicende, dei materiali e

dello stato di conservazione di tali opere per potere eseguire interventi di restauro e di recupero adeguati e corretti. Lo sviluppo di nuove e specifiche metodologie di indagine e di intervento, consentono di ottenere informazioni fondamentali per la progettazione e l'esecuzione di restauri conservativi attenti alle necessità dell'opera e ad un alto livello qualitativo. Proprio per questo siamo realmente attenti a questo mondo, il mondo della Calce.

Personalmente credo che porsi come obiettivo professionale la "qualità", intesa come capacità di ideare, concepire, realizzare e conservare un progetto in modo innovativo e conservativo, nasca e si evolva dalla scelta dei materiali, dalla coordinazione ed aggiornamento di personale specializzato, dallo studio di architetture e particolari progettuali, ovvero dall'unire diverse professionalità in una rete reale di conoscenze, una specie di "intranet" di vecchie conoscenze e nuove tecniche che vanno a mescolarsi in questa rete come una speciale catena di DNA.

Essendo nato e cresciuto in seno ai migliori professionisti del restauro ed avendo innata la curiosità per la ricerca e la sperimentazione di nuove tecniche, vorrei tramandare ai miei figli la solidità, la tradizione, l'amore, la passione e l'esperienza del restauroconservativo insegnatami da mio padre e vorrei che loro facessero altrettanto aprendo al massimo questa rete a figure e professionalità esterne alla famiglia e all'impresa.

La tradizione del restauro, le tecnologie innovative per la conservazione, il recupero, il rinforzo, il miglioramento ed il consolidamento strutturale e architettonico del patrimonio edilizio e di quello storico – artistico – monumentale: In questo scenario in profonda evoluzione opera AhRCOS S.r.l.

Alessandro Battaglia

Amministratore - AhRCOS S.r.l

Azienda certificata per restauro di beni immobili sottoposti a tutela e Consolidamento sismico del patrimonio edilizio e storico monumentale

PREFAZIONE

È con vero piacere che mi accingo ad introdurre l'ultima "fatica" di Alessandro, Andrea e Vassilli, ringraziandoli fin da subito per avermi invitato a tale scopo.

Il testo che avete tra le vostre mani è un tentativo, ben riuscito, di presentare in maniera chiara, semplice e diretta un materiale antico, eppur così moderno, come la calce, il cui uso si è soliti far risalire addirittura al periodo neolitico, e che ha attraversato senza sosta la civiltà Micenea e la civiltà Minoica, attestandosi con forza, sebbene con un po' di ritardo, anche nell'antico Egitto.

Il lavoro trasuda la passione dell'Autore per l' "arte del saper fare", tanto cara ai nostri artigiani-artisti, e si propone come uno strumento divulgativo per far conoscere in maniera comprensibile, pratica e veloce, anche ai non addetti ai lavori, i concetti più rilevanti che riguardano questo materiale, dalla sua storia alle sue implicazioni "ecologiche" di oggi, evitando formule complicate e trattazioni specialistiche dei singoli aspetti. Questo permette una lettura con duplice valenza: da una parte, suggerire una chiave di lettura originale agli specialisti dei vari campi di ricerca coinvolti; dall'altra, stimolare i curiosi ad approfondire gli argomenti trattati attraverso l'ampia bibliografia fornita.

Buona lettura

Enrico Quagliarini

Università Politecnica delle Marche
Dipartimento di Architettura Costruzioni e Strutture

I QUATTRO ELEMENTI

1.1 Terra, fuoco, acqua, aria

I quattro elementi che governano e conformano il nostro pianeta sembrano condensarsi nel materiale che rappresenta per antonomasia il mestiere e l'arte dell'edificare: la CALCE.

Vi è del magico nel cogliere un sasso dalla terra, cuocerlo e disgregarlo al fuoco, renderlo plastico con l'acqua, lavorarlo secondo volontà e riottenerlo solido grazie all'influsso dell'aria.

Una serie di cicli completi porta un materiale ampiamente disponibile in natura - la pietra calcarea immagine 1.1 - a diventare il legante principale di gran parte delle opere costruttive realizzate dall'uomo negli ultimi cinquemila anni senza mai perdere i caratteri di partenza: vale a dire le proprietà chimico-fisiche della roccia originaria.

Una vera e propria metamorfosi della materia, che cambia, si trasforma e si ricomponde per ritornare alla fine sempre uguale a se stessa. Tutto questo per merito e volontà di una schiera di maestranze - dai cavaletti ai carrettieri, ai fornaciai, fino ai manovali addetti alla confezione delle malte - che si distribuiscono il compito di offrire ai muratori le calce necessarie per alzare i muri, realizzare gli intonaci, portare a compimento le delicate opere decorative e di finitura.

La calce è il più antico e apprezzato dei leganti utilizzati dall'uomo per edificare, decorare e proteggere le sue costruzioni. Questa, mescolata con sabbia, ha trovato impiego nelle malte da muratura da tempi antichissimi e reperti archeologici ottimamente conservati ne attestano a tutt'oggi valore e durabilità. Per oltre 10.000 anni la calce dispersa in acqua ha rappresentato il sistema di imbiancatura e igienizzazione delle superfici architettoniche; unita alle terre colorate e ai pigmenti minerali, si è imposta come materiale di riferimento per coloriture, decori murali e affreschi.



Oggi la calce non si usa quasi più, i leganti di tipo cementizio e i polimeri di sintesi l'hanno sostituita ovunque e comunque, e dell'antico legante rimane soltanto la memoria impressa negli edifici storici e nei trattati di arte ed architettura. Eppure si fa sempre più strada la consapevolezza che ogni intervento di restauro deve ripartire proprio dai materiali tradizionali, da un loro uso corretto e coerente. A iniziare dalle buone calce del passato.

Negli ultimi anni è in corso una rivalutazione delle prerogative e delle qualità delle calce: non solo negli interventi di restauro, dove è necessario un uso corretto e coerente dei materiali simili agli originali, ma anche e soprattutto nell'edilizia tradizionale e in bio-architettura, dove i materiali moderni hanno definitivamente mostrato i loro limiti.

Calce è un termine generico che comprende i prodotti e le forme chimiche e fisiche sotto le quali possono presentarsi gli ossidi, come gli idrossidi, di calcio e di magnesio.

L'impiego di aggettivi quali aerea, viva, caustica, spenta, estinta, calcica, dolomitica ecc. ci consentono di distinguere i diversi prodotti,

tutti riferiti alle calce da costruzione, così come vengono definiti dalla norma europea UNI EN 459-1.

1.2 L'epoca prima del cromo e le sue meraviglie

Sin dal 1825, un anno dopo il brevetto del cemento Portland, con l'avvento delle tecniche di produzione di materie pigmentanti derivate dalla lavorazione del cromo, si è visto il proliferare di ogni sorta di pigmento, mistura, combinazione colorica, che si inserisse nella gamma che andava dal bianco al nero, in una sconfinata teoria di tinte, mezzetinte di qualsiasi grado e tono cromatico, impensabile sino al giorno della scoperta di questa nuova tecnica.

Nella seconda metà dell'Ottocento, con la scoperta dei silicati, come medium degli ossidi pigmentanti, la misura fu colma. Il bianco di San Giovanni lasciò il passo ai sintetici bianco di zinco e bianco di titanio; il blu egiziano, detto anche caeruleum aegyptium (fritta di Alessandria), ben descritto da Vitruvio, dovette arrendersi all'oltremare artificiale e a tutte le sue variazioni; a cavallo della metà del XIX secolo, il raro verde Veronese si tramutò in ossido di cromo e ossido idrato di cromo. Sugli scaffali delle botteghe, allo scemare delle ocre naturali, cominciarono a far mostra di sé i gialli ed i rossi di cadmio; e con irrefrenabile furia si iniziò a tingeggiare gli edifici con molto colore e poco criterio. Probabilmente gli architetti e gli imbianchini dell'epoca pensarono di dare ascolto alle "grida" dell'Abate Saverio Bettinelli, il quale, nel 1774, aggirandosi nella sua bella Mantova lamentava il bianco accecante dei Seicenteschi pestilenziali scialbi di calce.

Prima delle lamentele dell'Abate mantovano, i pigmenti adoperati nella pittura murale erano gli stessi usati per altre tecniche pittoriche su altri supporti. I pigmenti usati sulle tonacazioni (*Opus Tectorium*), erano in esiguo numero e moderatamente elaborati: per la maggior parte si trattava di ocre naturali ed ocre bruciate. Laddove la città "minore" non poteva ostentare costosi tinteggi composti con ocre od altri preziosi cromatismi, le vie dei borghi erano un susseguirsi di colori che la luce sulla pura materia conferiva alle facciate delle case. Calci morette o nigre, calci livide o berettine, sabbie gialle d'ogni grado e tono, sabbie rossicce, sabbie color avorio, sabbie miste delle quali l'astrazione cromatica infondeva negli intonaci colori varianti al variare delle luce radente, ed altre infinite composizioni volte a condurre i risultati cromatici ai più alti esiti estetici. A tal proposito non possiamo tralasciare i meravigliosi tonachini lisci e lucidi, che il Palladio applica sulle colonne della Rotonda di Vicenza: la polvere di vetro veneziano, ("granzoli") aggiunto allo stucco, porta il manufatto ad uno splendore mai visto prima, immagine 1.2.

In epoca gotica era uso ricoprire di un sottile strato di intonaco le modanature delle finestre ed i fregi in cotto, tinteggiandolo poi di rosso; sempre in epoca gotica la policromia, e soprattutto la dicromia dei pa-



Immagine 1.2 Villa Almerico-Capra detta La Rotonda a Vicenza

ramenti in vista dei monumenti maggiori, spinse a sostituire con tinteggiature o graffiti, i troppo onerosi marmi e pietre colorate: soprattutto le pietre verdi e le pietre rosse.

Spesso edifici con murature in pietra, nei secoli XV e XVI, venivano ricoperti di intonaco sul quale erano ridisegnati i conci incidendo l'intonaco con una punta; gli antichi costruttori veneziani rivestivano di intonaco le murature di mattoni, usando uno strato sottilissimo di malta, dipinto poi di rosso, sul quale venivano ridipinti i giunti orizzontali più fini ed i verticali più grossi. Nei secoli XV e XVI ebbero grande diffusione i graffiti bianchi e neri, ripresi poi nell'Ottocento anche nella versione bianca e rosa.

Essi venivano eseguiti con un primo strato di malta di calce colorata di nero ottenuto dalle ceneri della paglia bruciata, e con uno strato bianco sovrapposto, composto di calce di bianco travertino cotto, molto sottile: incidendo quest'ultimo strato con una punta si metteva allo scoper-

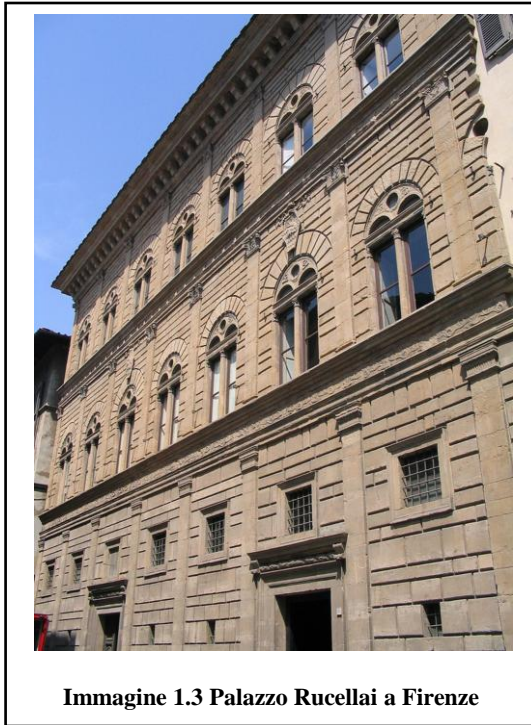


Immagine 1.3 Palazzo Rucellai a Firenze

to l'intonaco nero sottostante secondo i più vari disegni; si arricchiva il disegno, che altrimenti sarebbe stato troppo spoglio, con mezze tinte ottenute con terra nera, pura, diluita, applicate a pennello.

A Venezia il Giorgione ed il Pordenone risolvevano con l'affresco intere fronti di palazzi civili; mentre il Palladio infonde un particolare splendore ai marmorini veneziani, aggiungendo alla calce di fossa, polvere di marmo finissima, d'ogni origine e colore. Nel rinascimento il paramento marmoreo dell'edificio aulico viene spesso sostituito con l'intonaco, soprattutto nei fabbricati civili, il quale è messo a contrasto con i contorni di Pietra Serena, dopo l'esempio brunelleschiano. Non di meno qualcosa persiste della cromia lapidea del trecento e del quattrocento avanzato, come prova l'impiego della dicromia bianco-verde di Leon Battista Alberti nel Sepolcro Rucellai e delle tarsie policrome, come estrema espressione del mosaico fiorentino, anche nella facciata del Tempio Malatestiano.

In realtà si tratta della non ultima incarnazione dell'opus sectile romano, e anche dell'opus alexandrinum, che non si interrompe mai, pur attraverso le più varie declinazioni, lungo tutto il percorso della storia dell'architettura, immagini 1.3 e 1.4.



Immagine 1.4 Tempio Malatestiano a Rimini

1.3 Il colore della materia

Il problema della pianificazione e della manutenzione delle superfici di sacrificio delle facciate degli edifici storici è entrato nel vivo dei temi di dibattito soltanto in questi ultimi decenni, dopo che l'abbandono dell'antica pratica della preparazione e applicazione di malte da intonaco, che conferivano alle facciate il colore delle materie applicate, ha indotto molti progettisti e restauratori a porsi su una prospettiva di critica rispetto ai molti Piani del Colore proposti in varie città europee.

I manuali e la trattatistica dell'Ottocento, da Milizia a Valadier, citano l'opera della messa in pristino delle facciate ed il loro colore come un'operazione del tutto normale, legata alla tradizione ed alla Regola, con tempi scanditi dal naturale degrado dei materiali sottoposti, come sempre, all'oltraggio del tempo. La regolare manutenzione era, nel passato, veicolo della comune tradizione e momento di consegna dell'antica Regola dell'Arte alle nuove generazioni.

Ora che l'intervento sul costruito si concentra per lo più su interventi a lungo termine, e l'esercizio della manutenzione a tempi brevi viene del tutto abbandonato, ci si trova in presenza di vuoti generazionali ed all'inevitabile indurimento della sensibilità all'uso della materia ed al suo naturale colore, demandando a terzi la decisione di ciò che per Arte avremmo dovuto aver ereditato da chi ci ha preceduto.

Un nuovo obiettivo del restauro moderno è la riconquista di quella cultura che ci ha consentito di riscoprire e riproporre composizioni di malte da intonaco ed il loro naturale colore, risalenti a prima dell'avvento delle più recenti tecniche di tinteggio, che hanno modificato drasticamente la facies delle nostre città.

Questa nuova corrente di pensiero ha attratto l'attenzione degli addetti ai lavori sull'apprezzamento del colore naturale della materia, in opposizione alla nuova pratica dell'uso dei moderni tinteggi, che coprono con tinte sorde e inadeguate ogni vibrazione e pienezza cromatica delle materie naturali. Da lungo tempo è in corso dagli esperti del settore un'attenta ricerca mirata al riproponimento di malte composte con

sabbie locali dal colore naturale, per la protezione e la conservazione degli edifici storici. La ricerca è stata estesa alle varie realtà culturali ed architettoniche del nostro Paese e particolare attenzione è stata rivolta al patrimonio storico che caratterizza l'ambiente in cui è inserito.

L'aspetto delle malte e dei conglomerati "a vista" degli edifici antichi, è fortemente connotato dalla "grana" e dai toni cromatici assunti dalla presenza di aggregati localmente reperiti e disponibili nel cantiere del passato. La superficialità negli interventi di conservazione e manutenzione degli intonaci non tinteggiati e delle "nude" strutture murarie storiche, dovrebbe dare spazio ad un impegno più puntuale, teso a migliorare la qualità dell'opera. Il vasto patrimonio dell'edilizia storica non tinteggiata è oggi largamente confuso con il costruito moderno e pertanto i progettisti e gli operatori sono spesso inconsapevolmente indotti a scelte non del tutto adeguate; è per tale ragione che si assiste spesso ad inconvenienti dovuti all'incompatibilità tra i materiali usati e le preesistenze poste in pristino. Il tema meriterebbe di essere approfondito, specialmente per tutti quei casi in cui l'esito estetico e la compatibilità funzionale andrebbero affidate esclusivamente all'uso tradizionale delle materie locali e l'antico modo di applicarle.

1.4 Sabbie, materia e luoghi

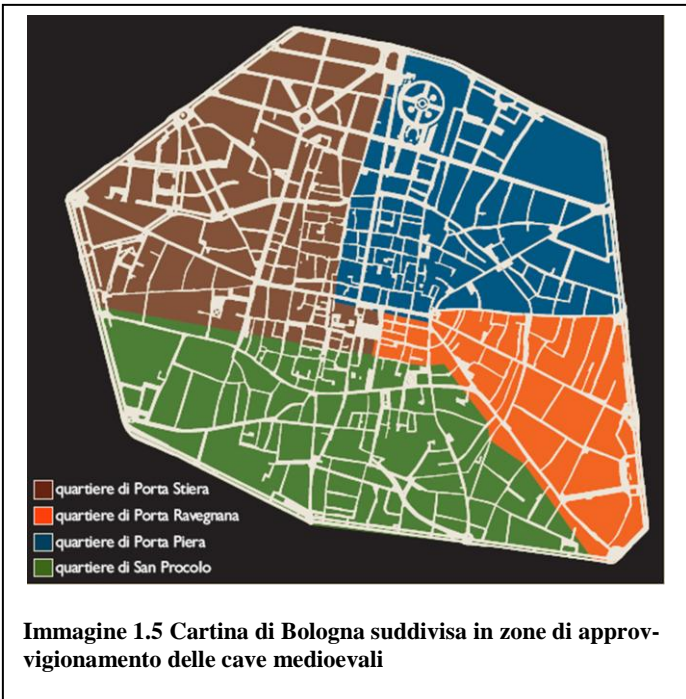
Le analisi delle malte dal colore naturale, ritrovate sui muri degli edifici storici di tutto il territorio nazionale, ha consentito di approfondire la conoscenza della vasta gamma di elementi che la compongono nelle sue varie tipologie.

Per ciascun genere di elementi in malta a vista (giunti murari, intonaci, tonachini, ornamenti, stipiti e cornici, finti bugnati, ecc.), l'esame sul luogo ha individuato puntualmente i nessi architettonici inscindibi-

li tra i caratteri di dettaglio della ‘materia’ indagata e l’immagine d’insieme dell’edificio stesso.

L’esame in situ del colore dell’edilizia regionale e l’analisi petrografica sulle sabbie locali di alveo, di cava e dalla risulta del taglio di pietre locali, sono stati condotti in collaborazione con artigiani e maestri dei diversi siti visitati.

Il confronto tra i caratteri delle malte dal colore naturale, non tinteg-



giate, degli edifici storici ha confermato l’ipotesi formulata in origine: che in passato in ciascuna zona siano state prevalentemente utilizzate, per secoli, le stesse sabbie disponibili nelle vicinanze degli edifici. Viene a delinarsi come il fattore economico abbia condizionato nel passato la scelta dei materiali da costruzione; l’attività edilizia si avvaleva principalmente di materiali locali poiché la difficoltà delle co-

municazioni rendeva molto costose le importazioni da luoghi lontani, immagine 1.5.

Vi sono aree ove scarseggiano materiali litoidi, utilizzabili come pietra da taglio, ma abbondanti sono i terreni argillosi utili per fabbricare mattoni; per contro, in altri siti, scarseggia l'argilla e quindi l'antica tradizione riproponeva l'antica tecnica del costruire con pietre locali squadrate, rispondendo all'esigenza imposta dall'Arte di impiegare la materia meno costosa e tralasciare la più lontana; laddove la pietra veniva lavorata, la risulta veniva finemente franta e ridotta in sabbia, da mescolarsi con la calce in modo da confezionare la malta per allettare i conci.

Si è altresì confermata l'ipotesi che in ciascun luogo i caratteri della "grana" delle malte a vista si associ ai caratteri della pietra da costruzione o pavimentazione locali, nonostante le diversità di gusto e di epoca degli edifici che li costituiscono. D'altra parte il confronto fra le sabbie locali cernite e la raccolta di campioni di malte, prelevate da vecchi edifici, ha messo in luce la grande varietà di sabbie e malte, caratteristiche delle diverse zone d'Italia. A tal proposito sarà sufficiente osservare le malte paglierine del leccese, realizzate con le sabbie gialle ricavate dal taglio dell'omonima pietra arenaria; le malte di un giallo ancor più acceso, composte con la risulta della lavorazione della pietra di Favignana; le malte bigio-giallicce, associate alle sabbie del Po e del Ticino; le malte rossicce ottenute dall'uso della polvere del coccio pesto; così come le malte siciliane ottenute con la mescolanza d'argilla rossa naturalmente torrefatta, reperibile nella piana di Catania, che i locali chiamano "la ghiara", ed altre infinità di sabbie e mondiglie che donano alle malte toni e vibrazioni cromatiche tipiche del costruito locale. In tutti i casi sperimentati si sono individuate le connessioni storiche rilevabili tra le sabbie di un luogo e l'aspetto cromatico locale dei manufatti. In ogni caso le peculiarità locali dell'aspetto delle vecchie malte d'allettamento e degli intonaci non tinteggiati, sono risultate rapportabili a tre fattori basilari: la grana visibile dell'aggregato; la tessitura della superficie; il colore di fondo, conferito prevalentemente dal legante usato e dalle frazioni fini dell'aggregato, indistinguibili ad occhio nudo.

Congiuntamente alle indagini sulle sabbie locali, sui caratteri degli antichi intonaci e sulle malte a vista delle diverse regioni, è stato condotto un esteso regesto comparativo della documentazione d'archivio di-

sponibile. Una successiva ricerca tecnologica è stata quindi condotta sullo studio degli aggregati per le diverse malte da rappezzo, da risarcimento dei giunti o da collette (tonachini), in modo da conseguire un effetto di “grana” convenientemente simile a quella delle malte originarie.

1.5 I Leganti

Un’attenta e puntuale ricerca tecnologica è stata volta ai leganti e sui rapporti formulativi legante-aggregato, che consentano di ottenere malte per rappezzature e risarcimenti su edifici storici con caratteristiche di comportamento adatte alle condizioni specifiche d’impiego.

La ricerca scaturisce soprattutto dall’esigenza di individuare e di sperimentare alternative valide all’impiego di malte cementizie e di malte bastarde (calce e cemento). Il deprecato costume, oggi diffuso, di utilizzare sui vecchi edifici il cemento come legante nelle malte, per reintegrazioni nelle murature e per rappezzi d’intonaco, può provocare una catena di inconvenienti ben noti. L’eccessiva rigidità dei nuovi manufatti può dar luogo a pericolosi regimi di sovratensioni e di coazioni; l’insufficiente diffusività al vapore può provocare subflorescenze espansive e la presenza di soluzioni solfatiche può creare fenomeni disgregativi irreversibili.

In sunto, spesso viene disattesa ciò che comunemente si definisce la compatibilità chimica.

La compatibilità chimica è una delle affinità che i materiali usati per il ripristino delle murature devono avere con i supporti su cui vengono posti: la malta da restauro non deve apportare sostanze potenzialmente pericolose per la struttura su cui si va ad intervenire; né si dovrebbero applicare sostanze di per sé innocue, ma che possano interagire negativamente con i prodotti di degrado della muratura.

Una muratura, in normali condizioni di conservazione, presenta un pH di 7.2 circa, appena superiore alla neutralità. Se viene applicata una malta a base di calce che presenta un pH attorno a 13, ovvero molto basico, si vengono a creare sulla muratura delle condizioni di maggiore mobilità ionica fino a che non avviene la completa carbonatazione della calce e il conseguente abbassamento di pH, che si verifica in media dopo 90 giorni. Al contrario una malta di cemento continua a produrre, per vari mesi, calcio idrossido a seguito della reazione di idratazione del cemento. In tal modo mantiene delle condizioni di pH elevato e maggiore mobilità ionica per periodi più prolungati rispetto alla malta di calce. Fra le sostanze potenzialmente dannose sono da annoverare i vari tipi di sali che, in presenza di umidità, possono produrre varie tipologie di degrado. I nitrati, i cloruri, i solfati e i relativi cationi (sodio, potassio, calcio, magnesio), possono produrre delle pressioni di cristallizzazione e idratazione a seguito dei cicli di evaporazione e cristallizzazione nei pori dei materiali.

L'aggiunta di cemento, ed in particolare quella dolosa di cemento bianco, che non lascia segni visibili, viene spesso effettuata dagli operatori, soprattutto con l'intento di accelerare i tempi di presa e di lavoro. Questa esigenza però, per quanto discutibile possa essere, non può che essere accolta; pertanto nel corso della ricerca sono state studiate e provate malte legate con specifici tipi di calce aerea ed aggiunte di materie ad effetto pozzolanico, non soggette ai rischi aggressivi predetti, con le quali è stato possibile conseguire tempi accettabili di fine presa, che potessero soddisfare le esigenze progettuali. Al fine di ottenere un legante a presa idraulica sono stati sperimentati come aggregati ad effetto pozzolanico alcune pozzolane zeolitiche laziali e campane, pozzolane silicee e cocchiopesto; inoltre, come aggiunte idraulicizzanti, sono stati impiegati, in varie proporzioni, finissimi metacaulini e diatomiti.

Per ciascun impasto sono stati determinati tutti i dati tecnici e scientifici rilevabili, al fine di caratterizzare la specificità di ogni campione. Il risultato è un quadro che pone in relazione le formulazioni sperimentate di varie proporzioni, con moduli elastici, i tempi di presa ed il colore di ogni singola malta essiccata.

1.6 La reattività delle sabbie, la grana ed il colore di fondo

Gli aggregati di molti tipi di malta indagati sono risultati essere essenzialmente gli stessi: essi consistono in sabbie con una certa distribuzione granulometrica, forma dei grani e mineralogia, dipendenti dal sito d'approvvigionamento. In molti casi si è rilevata la presenza di grani di quarzi e feldspati che affermano la loro caratteristica di inerti durante la presa delle malte: di fatto essi non reagiscono idraulicamente con il legante, se non in tempi lunghissimi e con frazioni assolutamente irrilevanti. Indagini di laboratorio, condotte su parecchi campioni di malta, hanno manifestato valori di reattività quasi nulli, tanto da poter affermare che tale reazione gioca un ruolo decisamente marginale. Oltre a quarzo e feldspati, la sabbia può contenere piccole quantità di mica ed un vario corredo di minerali argillosi, che sono anch'essi da considerarsi inerti durante il processo di presa ed indurimento delle malte. Inoltre apporti organici, come fibre vegetali d'ogni origine, peli d'animale od altri rafforzanti, che si trovano comunemente nelle malte storiche, non possono in alcun modo influenzare i risultati delle analisi chimiche.

Per quanto attiene al tessuto ed alla natura dei supporti dell'edilizia storica minore, ove si rilevano differenti tipi di manufatti composti di malta (malte d'allettamento, intonaci, collette, ecc.), si evince che storicamente, fino alla fine '300, l'uso del cotto era predominante come materiale da costruzione, ed è pressoché unico anche per l'ornamentazione. L'impiego dell'arenaria, con larghe campiture di intonaco, comincia a prevalere nei secoli XV e XVI e durerà fino ai primi dell'Ottocento. Accanto a questi materiali tradizionali è da ricordare l'impiego delle pietre pregiate rosse e bianche, giallicce, bigie e berettine, come i calcari veronesi, la pietra d'Istria, il Botticino e il Travertino, il bianco Carrara, il grigio Carnico e le arenarie ed i tufi dai caldi toni cromatici quali la pietra leccese, la Trani, la Serena, la Custozza, la Favignana, e moltissime altre, che non elenchiamo per non dilungarci a dismisura.

Le finiture delle superfici di questi edifici, sono state oggetto di diverse pratiche, come ad esempio le stuccature dei giunti, la stilatura, la tonacatura raso, e non di rado la tonacatura integrale.

L'analisi delle finiture delle murature in conci o strutture miste, al di sotto dello strato soggetto alla patina del tempo, ha rivelato comunque la presenza di policromie su tutte le superfici (escluse quelle dipinte con affreschi di varia espressione pittorica) ricoperte con malte composte di calce e sabbie locali, ove il colore della sabbia determinava il colore dell'edificio stesso.

In conclusione, l'indagine sulle materie del passato ci fa dedurre, in via ipotetica, alcune probabili caratteristiche generali sul cromatismo e sulle sue variazioni nel corso dei secoli. Il colore della città del passato è indubbiamente caratterizzato da quello delle pietre estratte dai giacimenti locali. Le caratteristiche estetiche dei materiali, che costituiscono l'elemento d'impiego per riporre in pristino i mancamenti, le lacune o i totali rifacimenti, dovranno però essere accompagnate da tecniche applicative che rispettino l'antica tradizione dell'uso delle malte colorate, la loro composizione e stesura, con il particolare intento di mettere in rilievo la grana ed il colore di fondo degli intonaci.

Quando vengono approntati risarcimenti di malte murarie o rappezzi di intonaci non tinteggiati, questi vanno progettati facendo riferimento all'aspetto assuefatto all'ambiente che le malte applicate assumeranno definitivamente dopo il periodo di maturazione. Le malte superficiali originarie mostrano una naturale perdita di materia che mette in risalto la loro struttura ed il loro colore; cosa che una malta, posta ex novo, nasconde sotto lo strato addensato di legante sulla sua superficie.

L'Arte ed il gusto estetico generalmente richiedono che l'aspetto delle reintegrazioni risulti convenientemente prossimo a quello delle vecchie malte che vengono conservate. Per raggiungere tale scopo gli artigiani restauratori mettono in risalto sia la grana, che il colore di fondo delle nuove malte, rimuovendo adeguatamente dalle superfici quel velo di legante che li nasconde. Diverse sono le tecniche che vengono adottate per asportare artificialmente il velo di calce che ricopre i nuovi manufatti appena applicati. Scartati i rischiosi procedimenti di lavaggio acido, che possono provocare conseguenze dannose al manufatto, si tratta essenzialmente di tecniche di lavaggio e spazzolatura a malta semindurita e di sistemi di lavorazione superficiale meccanica a malta indurita. Nel corso delle prove, è stato anche provato, con successo, un procedimento meccanizzato basato sull'abrasione del velo

superficiale di calce, a malta indurita, mediante una leggerissima applicazione con un'idrosabbiatrice, che proietta sabbie leggere, metilcellulosa, e acqua, i cui residui sono facilmente asportabili con una spugna inumidita.

LA CALCE NELLA STORIA

L'importanza che i differenti materiali hanno avuto nello sviluppo della civiltà trova conferma nella storia dei leganti da costruzione.

I leganti, nel loro evolversi, hanno segnato il progresso compiuto dall'uomo nell'arte del costruire e di trovare riparo per se e le sue cose.

La calce, il cui impiego in architettura si è perpetuato per oltre 10.000 anni senza soluzione di continuità, ha contribuito più di ogni altro legante alla sviluppo del Patrimonio Culturale dell'Umanità.

2.1 Preistoria

Il primo materiale usato nelle costruzioni di cui si ha testimonianza è l'argilla. Il suo utilizzo risale alla Preistoria: l'uomo aveva empiricamente appreso che l'argilla impastata con acqua poteva fornire un materiale plastico, capace di aderire con altri materiali altrimenti sciolti e, essiccando, indurire mantenendoli legati. I primi leganti derivati da processi di calcinazione di pietre naturali, chiamati genericamente cementizi, sono il gesso e la calce aerea. La loro scoperta fu probabilmente coeva e si può immaginare che abbia la stessa origine di quella della terracotta, essendo anch'essa legata alla scoperta del fuoco.

Data la maggiore facilità nell'ottenere il gesso rispetto alla calce, per via della temperatura di cottura più bassa, è probabile che questo abbia trovato inizialmente una maggiore applicazione. Infatti il primo esempio conosciuto di utilizzo sistematico di una reazione di cementazione in campo edile è legato all'impiego di gesso e si tratta del supporto degli affreschi decorativi di Catal Huyuk in Asia Minore, risalente al 9000 a.C., immagine 2.1. Il più antico manufatto rinvenuto realizzato

con la calce a noi conosciuto è un calcestruzzo usato in una pavimentazione rinvenuta nel 1985 a Yiftah nella Galilea meridionale (Israele), datato al 7000 a.C. Questa pavimentazione, che si presenta molto compatta e con una superficie dura e levigata, è stata realizzata con calce e pietra e collocata su un basamento uniforme di argilla sabbiosa. Questa scoperta archeologica ha soppiantato il precedente rinvenimento, un terrazzamento di 25 cm di spessore in calcestruzzo di calce grassa rinvenuto a Lepenac Vir, in Serbia, risalente al 5600 a.C.



Immagine 2.1 Sito archeologico di Catal Huyuk in Asia Minore

2.2 Egizi

Un murale, rinvenuto a Tebe e risalente al 1950 a.C., mostra invece un primo esempio di malta e conglomerato a base di calce in Egitto, immagine 2.2. La scoperta di un legante a comportamento idraulico, atto cioè a far presa ed indurire anche in ambiente subacqueo, si fa risalire ai Fenici. Come è noto essi ebbero una civiltà molto avanzata ed agli stessi si attribuiscono varie invenzioni come la fusione dei metalli, il primo alfabeto, ecc. Ai fenici si attribuisce la preparazione di malte confezionate con calce aerea e sabbia vulcanica delle Cicladi. Cisterne per acqua, intonacate con malte idrauliche, sono state rinvenute a Gerusalemme e si fanno risalire al regno di Salomone (X Sec. a.C.) e alla mano di operai fenici.



Immagine 2.2 Affresco rinvenuto a Tebe

2.3 Greci

I Greci usarono ampiamente leganti a base di calce; la conoscenza della tecnologia di produzione e del loro impiego pervenne loro dalla Civiltà cretese-minoica e successivamente passò agli Etruschi e ai Romani, immagine 2.3. Alcune opere greche del tempo di Erodoto (circa 450-500 a.C.), come l'acquedotto di Argo in conglomerato di marmo e calce, dimostrano come tale legante fosse allora abbastanza comune.



Immagine 2.3 Decorazione dell'antica reggia di Cnosso a Creta

2.4 Romani



Immagine 2.4 Acquedotto lungo la Via Appia

A Roma l'impiego di un conglomerato calce-pietre trova prima documentazione nel 300 a.C. con le opere di Appio Claudio Cieco: l'acquedotto Appio e la Via Appia, immagine 2.4. I Romani migliorarono notevolmente la tecnologia di produzione della calce aerea, coccendo calcari di buona qualità e spegnendo accuratamente la calce viva risultante che, successivamente, veniva mescolata con sabbia pulita. Essi conoscevano solo la calce aerea, cioè quella capace di fare presa a contatto con l'aria, mentre era sconosciuta la calce idraulica, in grado di fare presa anche sott'acqua. I Romani erano tuttavia in grado di ottenere malte idrauliche aggiungendo all'impasto la pozzolana. Come i Greci e i Fenici prima di loro, anch'essi non ignoravano che alcuni depositi vulcanici, quando venivano macinati e mescolati con

sabbia e calce aerea, forniscono una malta che presenta non solo caratteristiche di resistenza meccanica superiori a quelle ottenibili con la sola calce, ma anche la proprietà di resistere all'azione sia dell'acqua dolce sia di quella marina. Per formulare le malte idrauliche i Romani impiegarono principalmente tufi vulcanici rossi o purpurei, rinvenuti in vari punti della zona della baia di Napoli, immagine 2.5. Poiché la migliore di queste terre proveniva dalle vicinanze di Pozzuoli, il materiale prese il nome di "pozzolana" (dal latino pulvis puteolana). I Romani sfruttarono anche depositi di pozzolana naturale già noti ai Greci, sull'isola di Santorini, oppure la terra vulcanica, di colore scuro, dell'isola di Thera, e, più tardi, i depositi di trass renano, un tufo vulcanico della Germania meridionale. Ne deriva che il principale legante del periodo Romano è stato di fatto il "calcestruzzo", una malta ottenuta con grassello di calce, sabbie, cocchiopesto, sabbie pozzolaniche, cocci di mattone cotto, nelle sue diverse varianti. Oggi ben conosciamo le ragioni di tale scelta: la straordinaria capacità di aderenza che si determina all'interfaccia tra il materiale pozzolanico, naturale e artificiale, e la calce. Dunque, in caso d'indisponibilità di terra vulcanica, i Romani usavano tegole, mattoni o terraglie cotte, frantumate o macinate, dagli effetti similmente idraulici. Questa pratica probabilmente precede nel tempo l'uso di materiali vulcanici: vi sono prove che attestano nella Civiltà minoica di Creta (circa 1700 a.C.) l'uso di aggiun-

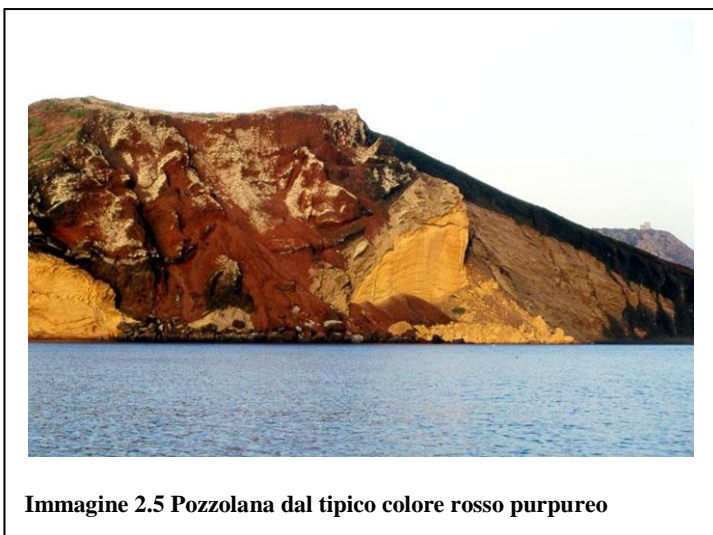


Immagine 2.5 Pozzolana dal tipico colore rosso purpureo

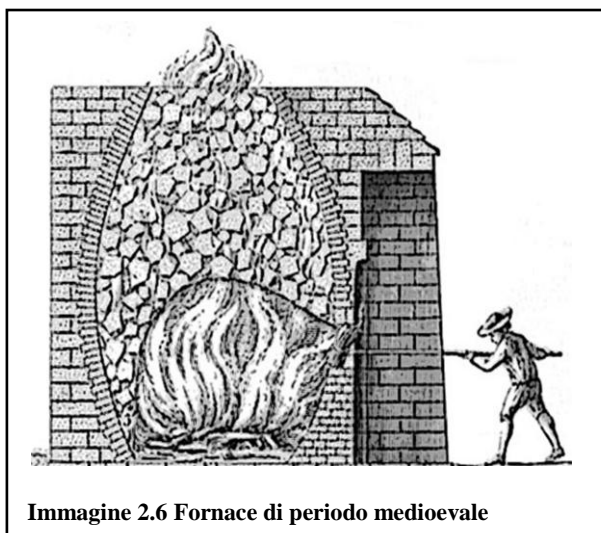
gere residui di recipienti frantumati alle malte di calce per migliorarne la resistenza meccanica, l'impermeabilità e la durabilità.

La divulgazione della tecnologia dei Romani fu agevolata dalla pubblicazione attorno al 13 a.C. del "De Architectura", opera dell'architetto e ingegnere Marco Vitruvio Pollione. Tale opera costituisce una fonte di informazioni estremamente dettagliata per quel che riguarda le modalità di costruzione romane, ed è considerata de facto il primo esempio al mondo di normativa industriale.

Nel capitolo V, Vitruvio discorre sulla calce (calx) dando testimonianza di una conoscenza necessariamente empirica, ma certamente valida: "Avendo spiegato i diversi generi dell'arena si dee porre in opera tutta la diligenza intorno alla calce, affinché sia cotta di pietra bianca o di selce (significa solo pietra dura); e quella che sarà di pietra più compatta e più dura sarà utile nella fabbricazione, quella di pietra porosa nell'intonaco. Quando la calce sarà estinta, allora si mescoli alla materia in guisa, che se l'arena sia fossile (di cava), si confondano tre parti di questa ed una di calce. Se sarà fluviale o marina, una di queste con due di arena; e così ci sarà giusta proporzione nel miscuglio. E se nella fluviale o marina si aggiungerà una terza parte di mattone pesto e vagliato, ciò formerà la composizione della materia ancora migliore per l'uso". Le conoscenze dei Romani sulla preparazione delle malte si estesero fin nelle Regioni più lontane dell'Impero, come dimostra la qualità delle murature scoperte in Inghilterra, che è uguale a quella di analoghe strutture trovate a Roma.

2.5 Medioevo

Con la caduta dell'Impero si perdono molte delle capacità produttive fino allora acquisite, ma la produzione e l'utilizzo della calce sono ancora attestate sia da prove archeologiche sia da fonti scritte. Durante



il Medioevo molte delle avvertenze costruttive dei forni prima descritte vennero trascurate e si ritornò quasi ovunque alla fornace di campagna di tipo verticale, priva di rivestimento in mattoni, che genera molto “incotto”, ossia pietra non calcinata; affondata nel suolo in zone adatte a utilizzare due livelli di carico, quello della pietra sopra e quello della legna e di scarico della calce sotto, oppure ancora alla fornace inclinata, immagine 2.6. In generale comunque si assiste ad un graduale declino del livello qualitativo delle malte di calce usate in campo edile, che perdurò per tutto il Medioevo. Nella formulazione delle malte furono sempre più impiegate sabbie sporche e inquinate da ar-

gilla, si abbandonò l'uso della pozzolana vulcanica e del cocchiopesto e, infine, si trascurò la tecnica di costipare adeguatamente le malte e i calcestruzzi confezionati con poca acqua. La conseguenza della rudimentalità di molte di queste fornaci fu un generale decadimento della qualità della calce. Solo più tardi, nel XIV secolo, con l'adozione di fornaci ancora intermittenti ma in muratura e a legna, e nel XVIII secolo, a griglia con carbone, si poté ritornare ai successi qualitativi dell'epoca romana. In Inghilterra, il declino caratterizza il periodo dei Sassoni e dei Normanni (circa 450-1150 d.C.) come chiaramente dimostrato dalle costruzioni di quell'epoca, spesso caratterizzate dalla presenza di malte di erronea composizione e non di rado prodotte con calci mal cotte. In un'opera di Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, avvenuta per tema l'esame degli edifici costruiti in Francia, l'Autore giunge alla conclusione che nel corso dei IX, X e XI secolo, si era quasi completamente persa l'arte di cuocere la calce, in quanto nella messa in opera veniva normalmente impiegata calce contenente grumi mal cotti, senza l'aggiunta di terracotta macinata. Dal XII secolo, la qualità della calce, cotta in modo migliore e ben setacciata, riprese a progredire. Dopo il XIV secolo la situazione migliorò ulteriormente, infatti sono state rinvenute malte eccellenti in cui, all'atto del loro confezionamento, si era presa la precauzione di lavare la sabbia, privandola dei contenuti di terra e argilla. Il fenomeno si può assegnare anche al risveglio umanistico, che portò a tradurre e a leggere opere latine, tra le quali quelle di Vitruvio e Plinio, testi questi che permisero di condurre più correttamente anche la fabbricazione e l'impiego della calce. Ulteriori miglioramenti si ebbero nei secoli seguenti, e specialmente nel XVII e XVIII secolo, in relazione alle diverse novità introdotte nella tecnologia di fabbricazione della calce, con la sostituzione della legna con il carbone per la cottura e la scoperta di nuove fonti di materiali a comportamento pozzolanico per la confezione delle malte idrauliche. In ogni caso nel corso di questi secoli il livello qualitativo generale si mantenne molto variabile e gli standard raggiunti ai tempi dei Romani non vennero, solitamente, più conseguiti.

2.6 Ottocento

I metodi dei Romani furono ripresi e fatti rivivere in Francia al tempo dei grandi lavori idraulici eseguiti nella Reggia di Versailles nel XVIII secolo, in particolare da Lorient, De la Faye, Faujas de Saint-Fond e, soprattutto, da Rondelet. Lorient, in una memoria del 1774, riferisce di: “Aver scoperto e dimostrato il semplice procedimento usato dai Romani per conferire alle loro costruzioni quella stabilità che testimoniano ancora, con la loro durata: la perfetta composizione della malte impiegate”. Jean Rondelet pubblicò nel 1805 il più autorevole lavoro su questo argomento, il Trattato dell’Arte di Edificare. Egli esaminò attentamente le costruzioni del tempo dei Romani e intraprese numerosi esperimenti per concludere che l’eccellenza delle loro malte da costruzione non dipendeva da qualche segreto nello spegnimento o nella composizione della calce (riferendosi ancora alla calce aerea), ma dall’estrema cura usata nella miscelazione dell’impasto e



Immagine 2.7 Vista del faro di Eddyston oggi

nel suo costipamento. Nello stesso periodo in Gran Bretagna, paese con ampio sviluppo di coste, si comincia ad avvertire l'esigenza di produrre leganti idonei a realizzare costruzioni anche in ambiente marino. Nel 1750 John Smeaton riceve l'incarico di ricostruire il faro di Eddyston, davanti a Plymouth e realizza con originalità la struttura, facendo uso di moduli lapidei incastrati a coda di rondine impiegando come malta di allettamento calce e trass olandese, immagine 2.7. Smeaton scoprì, fortuitamente, che la cottura del calcare contenente impurità argillose produceva un tipo di calce (calce idraulica) con caratteristiche analoghe a quelle della miscela calce-pozzolana, con il vantaggio, tuttavia, di non dover usare la pozzolana non disponibile ovunque. Una volta capito che il meccanismo di reazione della calce idraulica era legato alla presenza di impurità argillose, cominciarono le sperimentazioni nella cottura di miscele artificiali di calcare ed argilla. Nel 1796 James Parker brevettò uno speciale tipo di cemento naturale idraulico, detto cemento romano, ottenuto per calcinazione di noduli di calcare contaminati da argilla (septaria). Lo stesso procedimento fu usato in Francia nel 1802. Nel 1812, il francese Luis Vicat preparò una calce idraulica artificiale calcinando miscele artificiali di calcare e creta. Vicat fa la prima distinzione fra la calce idraulica naturale e artificiale: la prima ottenibile per cottura di calcari argillosi, la seconda di miscele di calcare e argilla. Vicat fa anche la prima distinzione tra calce idraulica e cemento: qualunque prodotto messo in opera previo spegnimento deve denominarsi calce idraulica, se senza spegnimento cemento. Nel 1822 James Frost completò la "ricetta" con del materiale calcareo frantumato. Bisogna aspettare il 1824 perché un muratore inglese, Joseph Aspdin, arrivasse a perfezionare il processi di selezione dei calcari e fino a raggiungere quel livello di qualità e di resistenza tramandato fino ai giorni nostri. E' da ascrivere alla creatività di Aspdin la scoperta del Cemento Portland, così chiamato perché la massa ottenuta assomigliava alla roccia dell'isola di Portland, immagine 2.8. Aspdin mescolò, studiandone attentamente le proporzioni, calcare e argilla che, cotti in un forno simile a quello usato per la calce, fornirono un legante (in realtà ancora una calce idraulica) con caratteristiche superiori agli altri fino ad allora sperimentati. L'impulso decisivo allo sviluppo dei leganti idraulici è stato innescato dall'intuizione di Isaac Charles Johnson che nel 1845 riuscì a produrre un legante dalle caratteristiche paragonabili all'odierno cemento Portland, portando la materia prima fino ad incipiente vetrificazione. Veniva utilizzato a tal fine un particolare forno a fuoco intermittente

(chiamato forno Johnson) per compiere il salto di qualità dagli 850-900°C, sufficienti per ottenere la calce idraulica (alla quale era assimilabile il “cemento” chiamato Portland da Aspdin), ai circa 1450-1500°C necessari per produrre il vero clinker di cemento.



A.D. 1824 N° 5022.

Artificial Stone.

ASPDIN'S SPECIFICATION.

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME, I, JOSEPH ASPDIN, of Leeds, in the County of York, Bricklayer, send greeting.

WHEREAS His present most Excellent Majesty King George the Fourth, by His Letters Patent under the Great Seal of Great Britain, bearing date at Westminster, the Twenty-first day of October, in the fifth year of His said Majesty's reign, did, for Himself, His heirs and successors, give and grant unto me, the said Joseph Aspdin, His especial licence, that I, the said Joseph Aspdin, my executors, administrators, or such others as I, the said Joseph Aspdin, my executors, administrators, and assigns, should at any time agree with, and no others, from time to time and at all times during the term of years therein expressed, should and lawfully might make, use, exercise, and vend, within England, Wales, and the Town of Berwick-upon-Tweed, my Invention of "AN IMPROVEMENT IN THE MANNER OF PREPARING AN ARTIFICIAL STONE;" in which said Letters Patent there is contained a proviso obliging me, the said Joseph Aspdin, by an instrument in writing under my hand and seal, particularly to describe and ascertain the nature of my said Invention, and in what manner the same is to be performed, and to cause the same to be enrolled in His Majesty's High Court of Chancery within two calendar months next and immediately after the date of the said in part recited Letters Patent (as in and by the same), reference being thereunto had, will more fully and at large appear.

NOW KNOW YE, that in compliance with the said proviso, I, the said Joseph Aspdin, do hereby declare the nature of my said Invention, and the manner in which the same is to be performed, are particularly described and ascertained in the following description thereof (that is to say):—

2 A.D. 1824.—N° 5022.

Aspdin's Improvements in the Mode of Producing an Artificial Stone.

My method of making a cement or artificial stone for stuccoing buildings, waterworks, cisterns, or any other purpose to which it may be applicable (and which I call Portland cement) is as follows:—I take a specific quantity of limestone, such as that generally used for making or repairing roads, and I take it from the roads after it is reduced to a puddle or powder; but if I cannot procure a sufficient quantity of the above from the roads, I obtain the limestone itself, and I cause the puddle or powder, or the limestone, as the case may be, to be calcined. I then take a specific quantity of argillaceous earth or clay, and mix them with water to a state approaching impalpability, either by manual labour or machinery. After this proceeding I put the above mixture into a slip pan for evaporation, either by the heat of the sun or by submitting it to the action of fire or steam conveyed in flues or pipes under or near the pan till the water is entirely evaporated. Then I break the said mixture into suitable lumps, and calcine them in a furnace similar to a lime kiln till the carbonic acid is entirely expelled. The mixture so calcined is to be ground, bent, or rolled to a fine powder, and is then in a fit state for making cement or artificial stone. This powder is to be mixed with a sufficient quantity of water to bring it into the consistency of mortar, and thus applied to the purposes wanted.

In witness whereof, I, the said Joseph Aspdin, have hereunto set my hand and seal, this Fifteenth day of December, in the year of our Lord One thousand eight hundred and twenty-four.

JOSEPH (s.d.) ASPDIN.

AND BE IT REMEMBERED, that on the Fifteenth day of December, in the year of our Lord 1824, the aforesaid Joseph Aspdin came before our said Lord the King in His Chancery, and acknowledged the Specification aforesaid, and all said every thing therein contained and specified, in form above written. And also the Specification aforesaid was stamped according to the tenor of the Statute made for that purpose.

Enrolled the Eighteenth day of December, in the year of our Lord One thousand eight hundred and twenty-four.

LONDON:
Printed by GEORGE EDWARD EVANS and WILLIAM SCOTTISHORN,
Printers to the Queen's most Excellent Majesty. 1824.

THESE ARE THE

Immagine 2.8 Brevetto del primo Cemento Portland, 21 ottobre 1824

2.7 Novecento

In Italia, fu solo negli anni Ottanta del XIX secolo che si andò consolidando, con un ritardo di oltre quarant'anni rispetto agli altri paesi europei più avanzati, la conoscenza tecnologica approfondita per produrre calce idrauliche. I primi forni per produrre tali leganti erano impianti verticali conformati a bottiglia o a tronco di cono (come il primo stabilimento eretto da Aspdin nel Kent), con temperature di cottura dell'ordine di 850-900°C e con notevoli dispersioni termiche. Progressivamente è stata introdotta una serie di innovazioni tecnologiche, consistenti nell'impiego di combustibile ad alto potere calorifico (carbone e poi derivati del petrolio) in sostituzione della tradizionale risorsa costituita dal legname e nell'adeguamento dell'involucro del forno alle maggiori temperature di combustione con il raddoppio delle pareti, che ha portato anche nel nostro paese al passaggio di produzione da calce idrauliche e cementi. Il cemento si attesta come l'unico e incontrastato legante da costruzione per buona parte del Novecento. La crisi petrolifera degli anni '70 sottolinea, forse per la prima volta, la fragilità del Portland, perlomeno dal punto di vista energetico, per via dell'enorme quantità di risorse necessarie alla sua produzione. Poi dal 2000, parole come "Sostenibilità ambientale" "Architettura Ecologica" e "Conservazione del Patrimonio Culturale" diventano temi centrali delle agende economiche e politiche dei paesi più sviluppati: la calce si ripresenta come una delle possibili soluzioni a questi problemi.

La calce, in virtù della minore richiesta di energia in produzione, della salubrità impartita agli edifici e della completa compatibilità con il costruito storico, si propone a noi, oggi, come il legante da costruzione del terzo millennio, con quella "freschezza" e "capacità di stupire" che solo un materiale straordinario può vantare, dopo secoli di duro e infaticabile lavoro.

IL CICLO DELLA CALCE

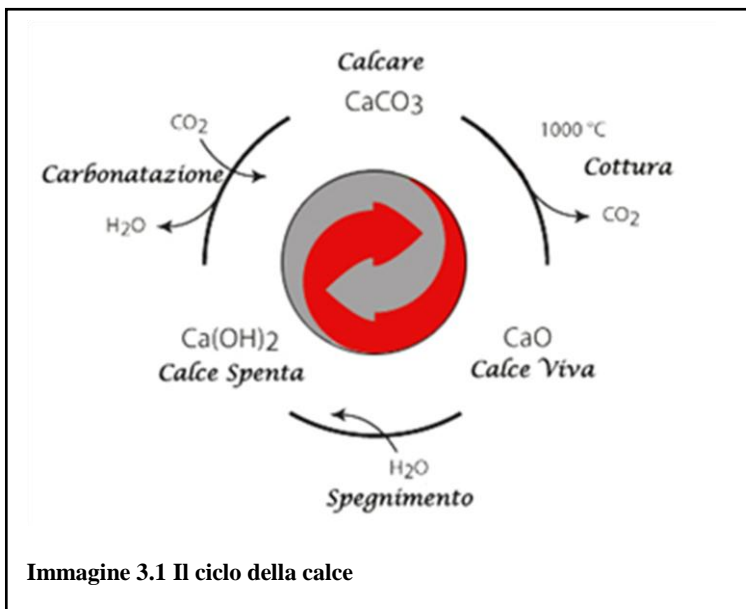
3.1 Il processo

Il processo di produzione della calce consiste nella cottura di calcari (calce aerea), o di calcari silicei o argillosi (calce idraulica) a temperature elevate (circa 900°C per la produzione di calce aerea e circa 950-1250°C per la produzione di calce idraulica).

In uscita dal forno, la calce (calce viva) viene trasferita all'impianto di idratazione per ottenere altri prodotti (calce idrata, latte di calce, grassello, calce idraulica).

“Vi è del magico nel cogliere un sasso dalla terra, cuocerlo e demolirlo al fuoco, renderlo plastico con l'acqua, lavorarlo secondo volontà e riottenere solido grazie all'influsso dell'aria” così scriveva il filosofo, poeta e scienziato greco Empedocle nel suo scritto *Della Natura*, riferendosi alla preparazione della calce, introducendo per la prima volta quello che oggi chiamiamo “ciclo delle calce”.

Un ciclo completo, che dopo una serie di passaggi successivi, porta un materiale ampiamente disponibile in natura, la pietra calcarea, a diventare il legante principale di gran parte delle opere costruttive realizzate dall'uomo negli ultimi cinquemila anni, immagine 3.1.



3.2 La raccolta

Il ciclo produttivo della calce inizia con il reperimento della pietra calcarea in cava (marna) o nel greto del fiume (calcare siliceo).

Nei secoli passati era estratta e raccolta dove la pietra risultava abbondante e presentava i caratteri idonei alla preparazione di ottime calci con un certo grado di idraulicità. Questo compito era affidato ai carrettieri che, per esperienza, sapevano riconoscere a colpo d'occhio i ciottoli "buoni", di colore biancastro-nocciola o giallino, ideali per la produzione della calce, da quelli "matti", di tonalità grigia, composti quasi esclusivamente da silice.

3.3 I quattro momenti della calce

Il ciclo della calce si compie in quattro momenti fondamentali, corrispondenti alla selezione del calcare (1), la cottura (2), lo spegnimento (3), la carbonatazione (4). Si tratta di una schema semplificato, perché in realtà le trasformazioni chimico-fisiche che avvengono durante i diversi processi sono assai complesse e articolate.

1) La selezione del calcare

Le caratteristiche mineralogiche e chimiche dei calcari usati come materia prima per la fabbricazione della calce sono di fondamentale importanza. I calcari più idonei alla fabbricazione della calce aerea devono avere una struttura microcristallina, alto contenuto di carbonati e contenere percentuali di impurità, in particolare di natura argillosa, non superiori al 5%, immagine 3.2.



Immagine 3.2 Ciottoli di calcare

2) La cottura

In fase di cottura, il calcare viene immesso nei forni e portato a una temperatura prossima a 900°C, immagine 3.3. In tali condizioni il carbonato di calcio si decompone in ossido di calcio (calce viva) e anidride carbonica. La reazione schematica del processo è la seguente:

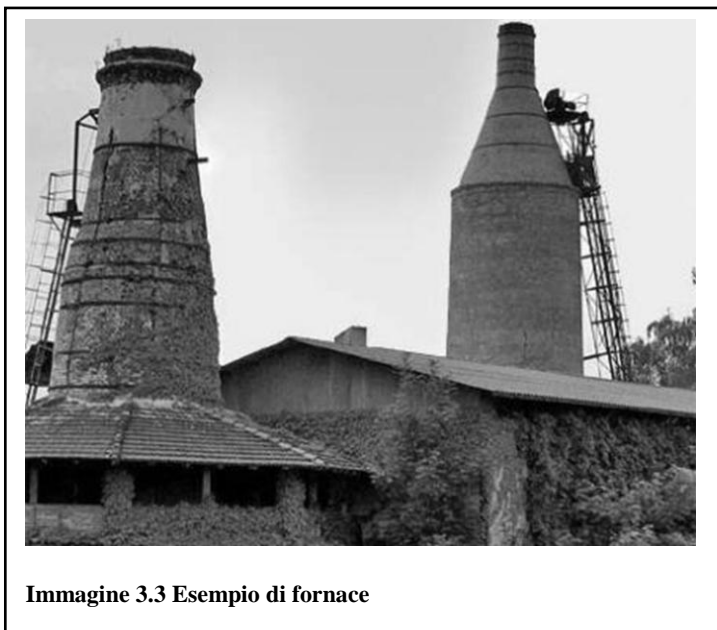
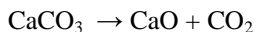


Immagine 3.3 Esempio di fornace

3) Lo spegnimento

La calce viva, messa a contatto con acqua reagisce con un forte sviluppo di calore e si trasforma in una polvere bianca (o in una pasta) chiamata calce spenta, chimicamente idrossido di calcio, immagine 3.4. La reazione schematica è la seguente:

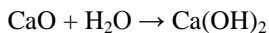
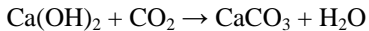




Immagine 3.4 Spegnimento della calce

4) *La carbonatazione*

Una volta in opera, in forma di malte, stucchi, pitture ecc. interviene la carbonatazione, immagine 3.5. Tale processo che può avvenire solo in presenza di anidride carbonica (e acqua libera) porta la trasformazione della calce spenta in calcite, chiudendo così quello che viene chiamato ciclo della calce. La reazione schematica della carbonatazione è la seguente:



Anche se la reazione precedente è corretta dal punto di vista formale, la reazione reale è più complessa. Osservando la precedente reazione infatti, il processo sembrerebbe avvenire tra un solido Ca(OH)_2 e un gas CO_2 , mentre in realtà la reazione avviene in fase acquosa grazie all'acqua di impasto della calce.



Immagine 3.5 Applicazione di pittura a Santorini (Grecia)

LE CALCI

4.1 La calce aerea

La calce aerea, così chiamata perché indurisce per assorbimento dell'anidride carbonica dall'aria, è il prodotto della cottura di calcari più puri e rocce ad alto contenuto di carbonati di calcio.

Nell'ambito specifico delle calci da costruzione, con calce aerea si indicano due prodotti:

- la calce “viva”, costituita prevalentemente da ossido di calcio;
- la calce “idratata” o “spenta” costituita prevalentemente da idrossido di calcio.

Dalla cottura dei calcari che contengono anche carbonato di magnesio si ottiene ancora “calce viva” e successivamente “calce idrata”, che conterrà insieme all'ossido/idrossido di calcio, l'ossido e l'idrossido di magnesio.

I termini di calce viva e calce spenta si usano, pertanto, indipendentemente dal contenuto o meno di magnesio, ma quando si vuole specificare la presenza del solo calcio, oppure del calcio e del magnesio insieme; si distinguono le “calci calciche” (CL) e le “calci dolomitiche” (DL).

La calce viva non è utilizzabile direttamente in edilizia e all'uscita dai forni viene trasformata in calce idrata, facendola reagire con acqua (idratazione).

La calce idrata, impiegata per la realizzazione di malte, intonaci, finiture architettoniche ecc. è disponibile sul mercato in polvere o in pasta.

4.1.1 La calce idrata in polvere

La calce idrata in polvere si ottiene facendo reagire la calce viva con acqua in condizioni controllate, tramite apparati chiamati idratatori.

La calce idrata in polvere, che rappresenta l'espressione moderna e industriale della calce, nasce in concomitanza all'avvento dei leganti cementizi, come esigenza di commercializzare leganti secchi da vendersi in sacco in analogia con il cemento.

La calce idrata in polvere è reperibile in sacchi ed è apprezzata esclusivamente per la comodità di confezionamento.

4.1.2 La calce idrata in pasta

Commercialmente la calce aerea è disponibile anche sotto forma di pasta, cioè di dispersione densa di calce (idrossido di calcio) in acqua.

La calce in pasta è ottenuta aggiungendo in fase di idratazione un eccesso d'acqua rispetto a quella necessaria a trasformare tutto la calce viva (CaO) in calce idrata (Ca(OH)_2). La calce aerea in pasta si può ottenere anche stemperando la calce idrata in polvere in acqua fino ad ottenere un prodotto omogeneo.

La calce idrata in pasta è chiamata comunemente "grassello di calce".

In realtà, il grassello di calce è un prodotto con caratteristiche peculiari e proprietà che lo rendono unico e non accomunabile ad una pasta di calce idrata.

4.1.3 Il grassello di calce

La calce idrata in pasta e il grassello di calce sono prodotti molto diversi l'uno dall'altro e non andrebbero mai confusi! La principale differenza tra una calce idrata in pasta e il grassello di calce è che la prima non beneficia degli straordinari effetti che il tempo produce in ordine alla struttura chimico-fisica del materiale, durante quello che viene chiamato invecchiamento o maturazione, immagine 4.1.

Durante la maturazione (fase che caratterizza e distingue il grassello dalla pasta di calce idrata) i cristalli di idrossido di calcio (portlandite) subiscono importanti cambiamenti morfologici e dimensionali, con il risultato di aumentare plasticità, lavorabilità e ritenzione d'acqua.

Alcuni dei vantaggi ottenuti dall'impiego, nella formulazione di malte e pitture, di grassello di calce correttamente invecchiato in luogo al suo corrispettivo di calce idrata in pasta sono:

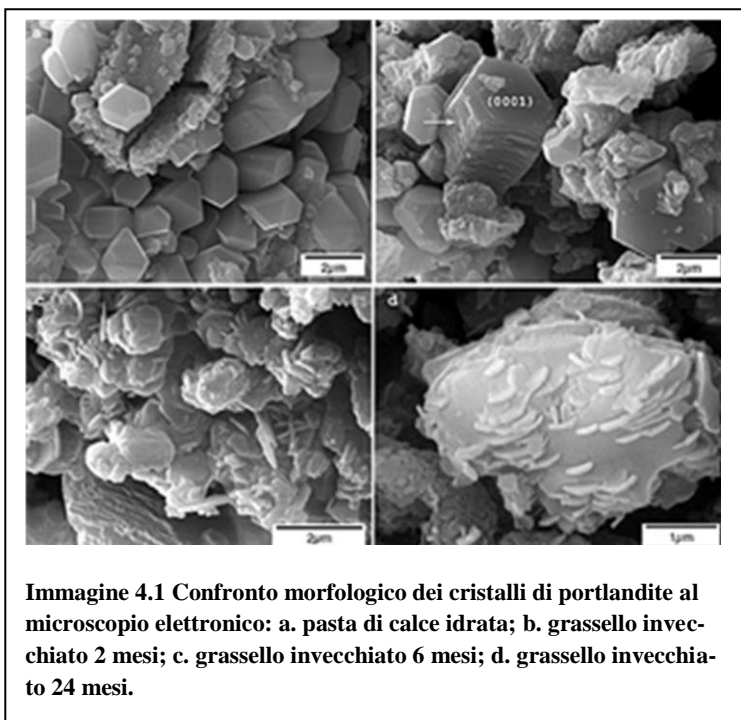


Immagine 4.1 Confronto morfologico dei cristalli di portlandite al microscopio elettronico: a. pasta di calce idrata; b. grassello invecchiato 2 mesi; c. grassello invecchiato 6 mesi; d. grassello invecchiato 24 mesi.

1. con il grassello di calce si ottengono malte più “grasse”, più plastiche e lavorabili, quindi meno soggette a ritiro, a suzione da parte delle murature e pertanto preferibili sul piano tecnico ed estetico;
2. le pitture formulate con grassello di calce, rispetto a quelle formulate con calce idrata in pasta (o in polvere), hanno una minor tendenza a segregare, non richiedono additivi organici, carbonatano, si fissano al supporto con maggior velocità e forza e, se ben applicate, non hanno tendenza a “spolverare”;
3. il grassello di calce si carbonata con maggiore rapidità della calce aerea in pasta (o in polvere), con benefici rispetto alla durabilità e alle resistenze dell’opera che si andrà a realizzare, sia questa una malta, un intonaco o una pittura murale ecc.

4.2 La calce idraulica

Esistono diversi tipi di leganti ognuno adatto ad un determinato tipo di utilizzo, per questo e altri motivi le calce aeree non vanno mai confuse con le calce idrauliche, leganti assolutamente diversi per origine, chimismo e processi di presa e indurimento.

La calce idraulica si distingue dalla calce aerea perché i suoi impasti possono indurire a contatto con l'acqua.

L'idraulicità garantisce anche la possibilità di un graduale indurimento anche in condizioni in cui sono limitate le possibilità di scambio con l'anidride carbonica nell'aria che consente le reazioni d'indurimento della calce aerea.

Le calce idrauliche sono materiali da costruzione tradizionali e costituiscono una tappa fondamentale della storia dei leganti impiegati in architettura prima dell'avvento del cemento Portland.

I primi esempi di impiego di malte idrauliche risalgono ai Romani e prima di loro ai Greci. In realtà, questi popoli ottenevano composti idraulici mescolando calce aerea e pozzolana e non direttamente con calce idrauliche, così come noi la conosciamo, che sono prodotti decisamente più recenti.

L'esistenza di calce, ottenute dalla cottura di calcari particolarmente ricchi di argille, note anche come "calce forti", è ben documentata, ma fu solo nel Settecento che fu capito che il meccanismo di reazione della calce idraulica era legato alla presenza di impurità argillose, cominciarono allora le sperimentazioni nella cottura di miscele artificiali di calcare ed argilla.

Nel 1793, J. Smeaton scoprì fortuitamente che la cottura del calcare contenente impurezze di argille produceva un tipo di calce (la calce idraulica appunto) con caratteristiche analoghe a quelle della miscela calce-pozzolana.

L'aggettivo "idraulico", riferito a un legante, è stato introdotto dall'ingegnere francese Louis Vicat (1786 –1861), che per primo stabilì in maniera precisa le proporzioni tra calcare e argille necessaria a produrre materiali in grado di fare presa e indurire anche in assenza di aria, ovvero in presenza di acqua. Sempre il Vicat, propose la prima, e sotto molti aspetti ancora valida, classificazione delle calce idrauliche. Con calce idrauliche si intendono prodotti derivati dalla calcinazione di calcari marnosi o marne calcaree (miscele naturali che presentano un certo tenore - dal 6 al 22% - di argille o altri alluminosilicati idrati) sottoposti a cottura a temperature generalmente comprese tra 1100 e 1250°C.

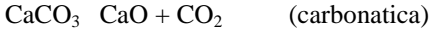
In tali condizioni si forma ossido di calcio (CaO) che successivamente si combina in parte con la silice e l'allumina dell'argilla formando silicati e alluminati di calcio idraulici, composti cioè che reagendo chimicamente con l'acqua formano idrati stabili ed insolubili che permettono al materiale di indurire e rimanere stabile anche sott'acqua (azione idraulica).

4.2.1 Calce magnesiaca

In alcune regioni, dove la dolomite è la roccia carbonatica predominante, la calce per lo più usata nel passato era sicuramente la calce magnesiaca. Nell'area da cui provengono i campioni da noi indagati, verosimilmente si trovano le fonti di approvvigionamento dalle quali i Romani attingevano per procurarsi le materie prime per la preparazione dei loro leganti.

Le dolomiti sono leggermente più pesanti e più dure delle carbonatiche prive di magnesio, di simile tessitura e porosità. La pura dolomite è bianca, ma le impurità presenti, spesso ferro, tendono a tingere di rossiccio, bruno o gialliccio.

I calcari dolomitici (magnesiaci) sono comunemente calcinati alla medesima temperatura dei carbonati puri. I due processi si sviluppano con le seguenti reazioni semplificate:



Ciononostante vi è prova che se la dolomite è calcinata ad una temperatura fra i 700°C e gli 800°C, la risultante reazione sarà una mistura di calcite (CaCO_3) e periclasio (MgO), la quale, a differenza di qualsiasi calce aerea carbonatica, può provocare una “presa idraulica”. Un campione di dolomite, calcinato per un’ora a 750°C, si è trasformato in calcite e periclasio con qualche residuo di dolomite. Si nota che la dolomite calcinata (viva) reagisce più lentamente, durante il processo di estinzione, di quanto non faccia una calce pura. In questo processo di idratazione la trasformazione da calcio ossido a calcio idrossido è un fenomeno veloce. Il componente magnesio ossido mostra invece una lenta assunzione d’acqua, cosicché in molti casi una mistura di calcio idrossido, magnesio idrossido e magnesio ossido, è ciò che in effetti viene usato per confezionare la malta. Quando la calce è estinta in una fossa e vi rimane a macerare per molti mesi, tutto l’ossido di magnesio ha il tempo per idratarsi e l’idrossido di calcio, come l’idrossido di magnesio, formeranno gravimetricamente due diversi strati, poiché la brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$, che è più densa, ha la tendenza di sedimentare sul fondo della fossa. In tutti gli altri modi di estinzione, che prevedono tempi brevi di contatto fra acqua e periclasio (ossido), non tutto il periclasio si trasforma in brucite (idrossido).

Nelle antiche malte di calce dolomitica, la portlandite è usualmente completamente carbonatata. Comunque è stato stabilito che le malte gotiche, di calce magnesiaca, prese dalle volte d’una costruzione trecentesca, ancora contengono residui di portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

La brucite cristallizza, sott’acqua, in fase bagnata o umida, formando lunghi aghi che compenetrano tra loro, il che si rivela con una certa durezza della malta, da ciò le malte di calce dolomitica possono far “presa idraulica” senza contenere silicati di calcio. E’ stato verificato, in malte storiche, che né la brucite, né l’idrossido di magnesio amorfo

possono essere parte dell'aggregato dei campioni indagati. Si è trovato nelle malte dell'Ultima Cena di Leonardo, della brucite; così come si è trovato dell'idrossido di magnesio amorfo nelle malte di importanti vestigia di varia architettura storica.

Il magnesio carbonato si converte in ossido di magnesio (magnesia o periclasio, l'equivalente della calce viva) ad una temperatura decisamente più bassa di quella necessaria per convertire il calcio carbonato in calce viva. Quando la calce è ben cotta la magnesia tende ad essere stracotta e può essere origine di tutti i problemi normalmente associati ad una lenta idratazione. Pertanto, speciale cura è richiesta per spegnere questo tipo di calce. Un metodo è di estinguerla sotto pressione in un'autoclave; un altro è di lasciarne macerare il grassello per lungo tempo. Il solito consiglio è di seguire le tradizioni locali ed essere coscienti dei rischi; ma deve essere sottolineato che, laddove vengono usate calci magnesiache, queste godono di ottima reputazione, dato che la loro presa è più veloce e sviluppano una maggiore resistenza.

E' dimostrato che le mitiche "malte porcellane", composte da calce magnesiacca e caolino calcinato, che hanno fatto la storia delle resistentissime strutture genovesi, non sarebbero così tenaci se non fossero state confezionate con calci ottenute da calcari magnesiaci. Dai dialoghi intercorsi con i vecchi depositari della secolare pratica della preparazione delle malte porcellane emerge un dato che sembra determinante ai fini della scelta dei materiali per la preparazione del legante storico: la calce magnesiacca, facilmente reperibile in suolo ligure, dà i migliori risultati se calcinata a bassa temperatura (730-750°C). Orbene, il caolino della Tolfa, usato dai vecchi genovesi come elemento pozzolanico, risulta essere fortemente reattivo se calcinato alla stessa temperatura. C'è da chiedersi se originariamente la scelta, più o meno cosciente, dell'uso delle calci magnesiacche non fosse dettata più dalla necessità di sfruttare materie locali, piuttosto che per rendere le malte qualitativamente migliori. Sta di fatto, però, che i risultati scientifici non possono che mettere in forte evidenza la capacità, la consapevolezza e la perfezione raggiunta dai nostri predecessori, con una raffinatissima conoscenza, consacrata da secoli di esperienza.

Cuocere il caolino a dolcissima temperatura doveva essere una tecnica acquisita con secoli di ripetute esperienze. Se la temperatura di calcinazione del caolino eccede gli 850°C vi è una trasformazione della materia in mullite, che rende il composto scarsamente reattivo con

l'idrato di calcio. Il fatto che il caolino della Tolfa fosse aggiunto al calcare magnesiaco nei forni, doveva essere una fortunata coincidenza, considerato che i carbonati magnesiaci sono tradizionalmente di facile reperimento sul territorio ligure. Sta di fatto che le indagini hanno evidenziato che il massimo della reattività pozzolanica si raggiunge quando entrambe le materie sono calcinate alla medesima temperatura di 750°C: e poiché ci sembra alquanto improbabile che i genovesi avessero approntato due cotte separate per ottenere un unico materiale, con gran dispendio di tempo e denaro, è verosimile che abbiano caricato il singolo forno con i due materiali mescolati assieme e li abbiano calcinati dolcemente alla medesima bassa temperatura, con risparmio di denaro ed irripetibili risultati tecnologici.

4.2.2 Calce Idraulica (HL) o Calce Idraulica Naturale (NHL)

Negli ultimi cento anni, i significati dei termini utilizzati per designare i leganti idraulici hanno subito alcune importanti variazioni.

Ciò ha determinato notevole confusione e disorientamento da parte degli utilizzatori della calce.

Attualmente, in base alla norma UNI EN 459-1:2001, ciò che commercialmente viene indicato come Calce Idraulica (sigla HL) non viene prodotto per cottura di marne o miscele di calcare ed argilla ma è ottenuto, di fatto, miscelando cemento Portland con un buon tenore di filler (materiale inerte macinato finemente, generalmente di tipo calcareo) e piccole quantità di additivi aeranti.

I prodotti ottenuti con la cottura di marne naturali oppure di mescolanze omogenee di pietre calcaree e di materie argillose sono indicati come Calci Idrauliche Naturali.

Le calce idrauliche naturali vengono contraddistinte con la sigla NHL (Natural Hydraulic Limes) in quanto, non sono modificate e idraulicizzate con l'aggiunta di materiali pozzolanici o idraulici (clinker, cemento, ceneri ecc).

Nel caso specifico delle calce idrauliche naturali, la normativa prevede una distinzione basata sulla resistenza meccanica e sul tenore di calce libera; tale distinzione si traduce nella definizione di tre classi: NHL 2; NHL 3.5; NHL 5.

4.2.3 La Norma UNI EN 459-1:2001

La norma UNI EN 459-1:2001 classifica le calce idrauliche in tre categorie:

1. Calce Idrauliche Naturali (NHL): derivate esclusivamente da marne naturali o da calcari silicei, senza l'aggiunta di altro se non l'acqua per lo spegnimento;
2. Calce idrauliche naturali con materiali aggiunti (NHL-Z): calce come sopra, cui vengono aggiunti sino al 20% in massa di materiali idraulicizzanti o pozzolane;
3. Calce Idrauliche (HL): calce costituite prevalentemente da idrossido di Ca, silicati e alluminati di Ca, prodotti mediante miscelazione di "materiali appropriati".

Grazie a questa norma, finalmente, si è definito cosa deve intendersi per calce idraulica naturale (NHL). Secondo questa classificazione, il solo materiale che, a pieno titolo, può essere definito e impiegato come tale è quello siglato NHL.

Il numero che accompagna la sigla (NHL 2, NHL 3.5 e NHL 5) indica la resistenza meccanica della calce, riferita come minima resistenza

Prodotto	Resistenza compressione	
	7 giorni	28 giorni
NHL 2, HL 2		≥ 2 to ≤ 7
NHL 3.5, HL 3.5		≥ 3.5 to ≤ 10
NHL 5, HL 5	≥ 2	≥ 5 to ≤ 15

Immagine 4.2 Tabella delle resistenze meccaniche

alla compressione di un provino di malta dopo 28 gg. di stagionatura, espressa in Mega Pascal (MPa), immagine 4.2.

La classificazione delle resistenze vale anche per le altre due categorie di calci idrauliche, la NHL-Z e la HL, create ovviamente per lasciare spazio a tutti quei prodotti che sino a ieri hanno occupato il campo della calce idraulica naturale propriamente detta.

LA CALCE E LE COSTRUZIONI

5.1 La calce in architettura

La calce rappresenta, per antonomasia, il mestiere e l'arte dell'edificare.

La calce trova impiego nella realizzazione degli edifici nelle malte da muratura, allettamento, stuccatura, negli intonaci interni ed esterni, nei calcestruzzi per fondazioni, murature a sacco ecc.

La calce è impiegata altresì nelle finiture architettoniche, negli stucchi e marmorini, così come nelle tinte murali e negli affreschi.

La totale compatibilità con tutti i materiali costruttivi, pietra, laterizio, legno, terra cruda ecc. ne fanno il più apprezzato e valido legante di ogni epoca e civiltà, e da preferirsi a ogni altro nelle opere di restauro.

5.2 Le malte

La malta è una miscela di leganti inorganici, aggregati prevalentemente fini, acqua ed eventuali altri componenti (organici e/o inorganici), in proporzioni tali da conferire all'impasto opportuna lavorabilità e adeguate caratteristiche fisico-meccaniche una volta compiuti i processi di presa e indurimento.

La malta è una miscela in proporzioni variabili di legante, aggregato ed acqua, per ottenere un impasto plastico che ha capacità di indurire in un tempo più o meno lungo a seconda della sostanza adoperata come legante.

L'aggregato ha il compito di aumentare il volume dell'impasto, di facilitare il passaggio dell'anidride carbonica necessaria per una buona presa o indurimento e di impedirne il ritiro volumetrico con conseguente formazione di cavillature.

Il legante, per trasformazione fisica e per reazione chimica, provoca l'unione delle particelle dell'aggregato altrimenti incoerenti.

Le malte vengono classificate sulla base della tipologia d'impiego in: malte per murature (di allettamento, di riempimento, ecc.); malte per intonaci; malte per decorazioni (a spessore, a rilievo, ecc.); malte per usi particolari (stuccature, sigillature, stilature, ecc.); malte per applicazione di rivestimenti (pavimentazioni, pareti, ecc.).

5.2.1 Malte di calce: aeree o idrauliche

La distinzione tra le diverse malte può essere basata anche sulla natura dell'impasto, che si definisce "aereo" o "idraulico", in relazione alla capacità di indurire in presenza di aria (malte aeree) ovvero anche in presenza di acqua (malte idrauliche).

Impiegando la calce aerea o calce idraulica come leganti nella formulazione di una malta si potranno ottenere tre tipi fondamentali di impasti.

5.2.2 Malte ordinarie (aeree)

Sono malte che fanno presa ed induriscono solo in presenza di aria (anidride carbonica). Sono miscele di calce aerea (calce idrata in polvere o grassello di calce) e aggregati (non pozzolanici) e acqua.

In relazione all'impiego, alla tessitura e al colore desiderato, gli aggregati potranno essere sabbie di diversa granulometria e natura, frammenti e polvere di materiali litoidi quali marmo, calcari, ecc.

Anche se è ormai dimostrato che un aggregato non ha un comportamento "inerte" rispetto alla malta, in questo tipo di malte non sono impiegati materiali a comportamento pozzolanico e l'indurimento dell'impasto avviene solo per processi di carbonatazione della calce.

La calce aerea trasferisce ad una malta le seguenti proprietà:

- plasticità e lavorabilità
- promuove forze di legame
- fornisce alta ritenzione d'acqua
- maggiore flessibilità e resilienza sotto stress
- scarsa tendenza a formare efflorescenze
- grande traspirabilità, che permette all'umidità interna di evaporare facilmente.

5.2.3 Malte idrauliche (di calce aerea)

Le malte a base di calce aerea realizzate (calce idrata in polvere, calce idrata in pasta o grassello di calce) possono essere rese idrauliche aggiungendo, al momento dell'impasto, frazioni di pozzolana o meglio di materiali pozzolanici¹.

I materiali a comportamento pozzolanico sono sostanze naturali o sottoprodotti industriali che hanno una struttura amorfa o parzialmente cristallina e sono composti di silice, o di silico-alluminati o da una combinazione di questi.

Le sole pozzolane non induriscono una volta messa a contatto con acqua, ma se vengono finemente macinate possono reagire con l'idrossido di calcio, in presenza di acqua e a temperatura ambiente, e formare silicati del calcio idrati.

Le malte idrauliche di calce aerea sono di particolare importanza storica essendo state utilizzate dai Romani in grandi opere che si sono ottimamente conservate fino ai nostri giorni.

Nelle migliori condizioni di realizzazione per quanto riguarda la composizione, costipazione e maturazione, la resistenza a compressione di una malta ottenuta con calce e pozzolana può variare tra 3 e a 9 MPa, nettamente superiori a quelli di una malta ottenuta con calce aerea.

Ulteriori proprietà degli impasti di calce e pozzolana rispetto alle malte ordinarie sono le seguenti:

- maggiore resistenza meccanica

¹ *La pozzolana, inizialmente estratta dalle cave di Pozzuoli, è un prodotto di origine vulcanica costituito prevalentemente da silicati idrati di allumina, da silice al 70%, ossido di ferro, potassio, sodio e magnesio. Hanno natura acida e reagiscono con l'ossido di calcio per dare silicati amorfi.*

- minore permeabilità all'acqua
- maggiore durabilità in ambiente esterno.

L'argilla cotta (cocciopesto), inerte usato fin dall'antichità, è un'argilla composta da silicato di alluminio cotto e frantumato. Si può considerare una pozzolana artificiale e veniva usata sin dall'antichità per realizzare interventi in presenza di acqua (acquedotti, fogne, porti ecc) e come impermeabilizzante di coperture.

5.2.4 Malte idrauliche (di calce idraulica naturale)

L'impiego di malte idrauliche risale a tempi antichi, ma fino al XVII secolo non si ha notizia che siano state impiegate altre malte idrauliche se non quelle appena citate, a calce e pozzolana.

Le malte idrauliche di calce idraulica si realizzano appunto con calce idraulica naturale e aggregato, non necessariamente a comportamento pozzolanico.

Troppo spesso le malte idrauliche più comuni sono quelle ottenute aggiungendo alla calce idraulica una percentuale variabile di cemento: consuetudine deprecabile soprattutto negli interventi di restauro.

5.2.5 Malte “porcellane”

La particolarissima virtù di queste calce di far presa con l'acqua era stata già da tempo largamente sperimentata dall'Architetto Giovanni Branca, il quale nel suo “Manuale d'Architettura” del 1629, vanta d'aver inventato un miscuglio da lui chiamato “Mastice dei Tartari”, adatto ad ogni “capricciosissimo” lavoro. Egli preparò tale mastice avendo per scopo di difendere dall'umidità i muri dei Bagni di S. Filippo in Toscana. In quell'occasione egli preparò una malta di calce ed una nuova materia data all'Architettura con la quale egli formò “un Tartaro bianco lattato, duro a piacimento fin a farlo superare la durezza del marmo Carrarino Statuario, e resistente alle ingiurie del tempo quanto il Travertino”. Pur rispettando la sua volontà di voler serbare il suo prezioso ed inconfessabile “segreto” di Bottega, oggi si può svelare che il biancore e la durezza ottenuti dal suo miscuglio era dovuto alla presenza di quantità di caolino calcinato, che conferisce alle malte di calce idrata (aerea o aerea magnesiaca) uno spiccato carattere pozzolanico. Il caolino, infatti, è l'unico materiale ad effetto pozzolanico di color bianco, che conferisca uno straordinario potere di idraulicità alle malte con esso composto.

D'altronde lo stesso materiale legante, cui fa riferimento il Branca, si trova diffusamente nella cultura del costruire del passato. Simile o egual materia, che è rimasta nel gergo, come detto sopra, di vecchi mastri liguri col nome di “porcellana” o “purselana”, è diventato oggi argomento di accesa disquisizione dopo il ritrovamento della stessa nel Molo Vecchio del porto di Genova: le malte, ritrovate in quel sito, che sono databili alla seconda metà del '500, sono ancor oggi di straordinaria bianchezza e tenacità, nonostante la secolare aggressione dell'acqua di mare.

La parola porcellana, con tutte le sue variazioni vernacolari, che compare frequentemente nei registri commerciali dell'epoca, è poco probabile si riferisse all'omonima preziosa conchiglia, né tantomeno all'ancor più preziosa materia che costituiva il prodotto ceramico proveniente dalla Cina, conosciuto in Europa sin dal Medioevo, tanto lodato da Marco Polo dopo il suo viaggio in Oriente.

Ciò che contraddistingue le malte porcellane del passato, è la presenza nei loro impasti di allume di potassio. Questa materia, sin dal Medioevo, era largamente richiesta sul mercato essendo specificatamente utilizzata per la coloritura dei tessuti, per la conciatura delle pelli ed altri procedimenti artigianali. Documenti d'archivio fanno risalire l'uso di questa materia almeno al 1275.

Fu nella seconda metà del '400, che assieme all'allume cavato dai Monti della Tolfa, venne estratto il caolino che sarebbe servito a preparare le malte porcellane. L'Allume di potassio, di fatto, è un elemento che si trova facilmente in combinazione naturale col caolino dei suddetti giacimenti della Tolfa. Pur non avendo ancora un riscontro scientifico, sembra che questo elemento giochi un qualche ruolo sulla tenacità del prodotto finale; anche se la tradizione insegna che forse le malte alla porcellana dovevano la loro forza al peculiarissimo modo con cui veniva composta la calce: essa veniva preparata mescolando 1/5 di grassello stagionato ed 1/5 di calce viva, così come sperimentato con successo e divulgato dai Lorient e Rondelet.

5.2.6 Malte deumidificanti

Pressoché ogni edificio, antico o moderno, che non sia stato adeguatamente difeso, presenta in qualche parte disgregazioni di malte e di intonaci imputabili all'umidità contenuta nel muro. La pratica secolare suggerirebbe di eliminare le cause della presenza dell'acqua e di lasciare asciugare il muro, prima di intraprendere ogni azione di risarcimento dei giunti, di rappezzatura degli intonaci o il rifacimento totale degli stessi; e ciò richiede tempi molto lunghi per la conclusione dei lavori: talvolta lunghissimi. Negli ultimi vent'anni si è esteso anche in Italia l'impiego di malte macroporose evaporanti, premiscelate industrialmente; queste possono essere applicate anche poco tempo dopo aver eliminato le cause dell'umidità perché consentono senza danni lo smaltimento per evaporazione dell'acqua residua presente nel muro.

Sono state studiate e sperimentate, positivamente, malte macroporose preparate utilizzando sabbie locali in modo da conseguire un aspetto – colore di fondo e grana – simile a quello della vecchia malta da reintegrare. Le malte sperimentate utilizzano come legante calce idraulica naturale umbra con aggiunte di materie a comportamento pozzolanico di colore chiaro (diatomiti, caolinite calcinata, silici amorfe, ecc.), additivate con specifici agenti aeranti e metilcellulosa modificata con funzione di addensante e di ritentore d'acqua.

Speciale attenzione è stata posta, durante lo studio, alle malte di calce specifiche per il recupero delle murature tessute in argilla cruda. La delicatissima opera di recupero e difesa delle strutture in terra prevede leganti e malte che si adattino in modo particolare a delicatissime strutture, che più di altre soffrono della disgregazione a causa dell'umidità e l'oltraggio del tempo.

5.2.7 La normativa sulle malte

Per orientarsi nel panorama normativo delle malte, è necessario fare riferimento alla Norma armonizzata europea UNI EN 998-1- Specifiche per malte per opere murarie - Malte per intonaci interni ed esterni, secondo la Direttiva Europea 89/106 CEE-Marcatura CEE dei prodotti da costruzione. La UNI EN 998-1, in vigore dal 1 febbraio 2005, classifica le malte in base al concetto come malte a prestazione garantita o malte a composizione prescritta; in base alla modalità di produzione come malte prodotte in fabbrica, malte semifinite prodotte in fabbrica o malte prodotte in cantiere e, ancora, in base alle proprietà e/o all'utilizzo. Nella norma vengono definiti i requisiti che devono avere le malte indurite e le malte fresche.

Precauzioni d'uso:

- Tutte le calce hanno carattere alcalino ed a contatto con acqua sviluppano pH molto elevati (pH > 12).
- Le malte di calce sono fortemente irritanti per la pelle e gli occhi e le polveri anche per le vie respiratorie, impiegandole è quindi indispensabile adottare le dovute attenzioni e appropriati mezzi di protezione personale.

5.3 Gli intonaci

La malta prende il nome di “intonaco” quando è impiegata a formare una struttura stratificata di rivestimento di una muratura.

Intonaco è il termine usato in architettura per indicare la parte più esterna del rivestimento superficiale delle strutture verticali.

L'uso di rifinire le superfici murarie con intonaci di calce e sabbia ha origini antichissime, è attestato con certezza in alcune città dell'antica Grecia: a Delo si sono riscontrate pareti rivestite da due, tre, quattro e talora cinque stesure.

In epoca romana, dei rivestimenti parietali parla diffusamente Vitruvio che raccomanda l'uso di ben sette strati. Più in generale, con tutte le varianti tecniche finalizzate ai diversi usi, per tutti i lunghi secoli della storia, l'uomo ha protetto e rifinito i muri degli edifici con intonaci capaci di resistere per centinaia di anni, se non millenni.

Purtroppo oggi non esiste alcuna continuità tra le tecniche di intonacatura storiche, sia sul piano materiale sia tecnologico: la calce, legante privilegiato di tutti i tipi di intonaco, è stata man mano sostituita dal cemento, a scapito della qualità estetica e delle esigenze di traspirabilità della massa muraria. Ciò ha portato anche all'abbandono pressoché

totale anche delle più diffuse tecniche di finitura a calce (tinte, affresco, ecc.).

5.3.1 Gli intonaci a calce

Gli intonaci, come le malte, si distinguono in base al legante usato: l'intonaco a base di calce, definisce un impasto dove l'unico legante è la calce, aerea e/o idraulica. Dopo quasi un secolo di oblio, durante il quale sono stati compiuti danni non indifferenti alle costruzioni, viene rivalutato l'uso della calce come legante principale da utilizzare per gli intonaci. I pregiudizi, infondati, secondo cui la calce non sarebbe solida e resistente quanto il cemento perdono oggi di importanza e gli intonaci a calce vengono sempre più considerati migliori sotto diversi aspetti e in assoluto i soli compatibili con i materiali di edilizia tradizionale e antica (laterizio, pietra, ecc.).

Gli intonaci a calce hanno inoltre come prerogativa quella della traspirabilità, che favorisce l'allontanamento dell'acqua contenuta nelle murature contribuendo alla conservazione degli edifici e al benessere abitativo.

5.3.2 Esecuzione dell'intonaco

Secondo la tipologia della struttura muraria, l'intonaco a base di calce può essere costituito da una o più stesure.

In caso di supporti tradizionali, come pietra, mattone o misti (mattone e pietra) si applicano, preferibilmente a mano, tre strati di cui il primo con funzione di aggrappaggio (rinzaffo), il secondo per realizzare l'opportuno spessore (arriccio), e il terzo per la finitura (stabilitura), immagine 5.1.

Rinzaffo

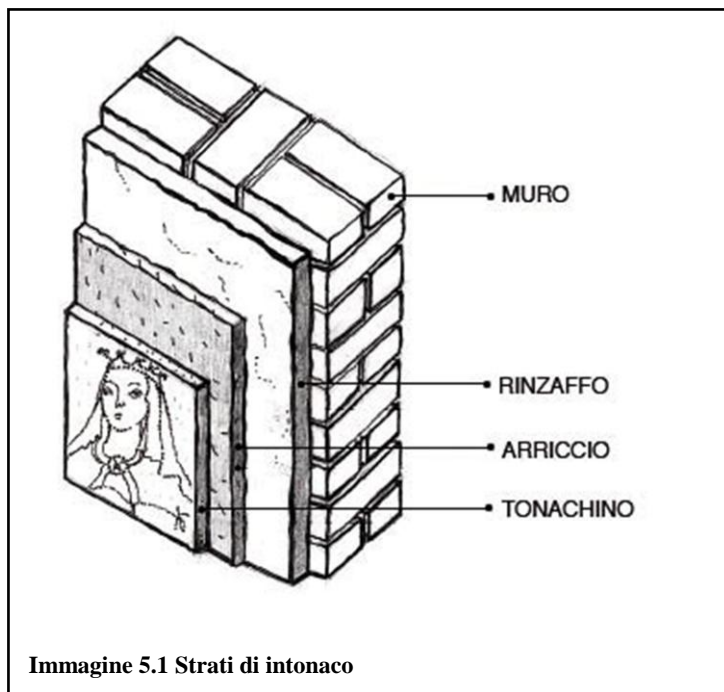
Il rinzaffo, fatto con inerti a granulometria più grossa e con elevato dosaggio di legante, regolarizza il supporto e lo prepara in modo da assicurare buona aderenza agli strati successivi. La malta viene gettata a cazzuola, e con forza, contro la parete. Lo spessore dipende dagli avvallamenti e dalla disomogeneità della superficie: in quei punti dove è elevato si inseriscono frammenti di mattoni.

Arriccio

Appena il rinzaffo sarà perfettamente asciutto, si stenderà lo strato di arriccio che deve compenetrare nella scabrosità del rinzaffo, in modo che la muratura risulti perfettamente piana ed uniforme, senza ondulazioni. Nell'arriccio, con prevalenti funzioni di tenuta e di impermeabilità, il minore dosaggio di leganti consente di limitare il ritiro. E' costituito da una parte di calce e due-tre parti di sabbia di granulometria media. E' importante non avere eccesso d'acqua nella malta, per evitare ritiro in fase di presa e l'insorgere di cavillature. Lo spessore dell'arriccio è in relazione alla presenza di sconnettiture del muro di supporto: in genere non deve essere mai inferiore al mezzo centimetro. La superficie dovrà essere finita a frattazzo in legno così che l'intonaco si presenti con grana fissa e senza saldature, sbavature od altro difetto.

Stabilitura

La stesura della finitura finale, la stabilitura, ha funzione estetica. Lo stato è costituito da una malta ottenuta con sabbia a grana fine, il



suo spessore può raggiungere il mezzo centimetro, anche se in genere inferiore, soprattutto se la malta è ricca di calce. La finitura deve essere data possibilmente sul corpo dell'arriccio ancora piuttosto fresco, così da creare uno stabile collegamento.

Precauzioni:

- A fine realizzazione è necessaria una accurata bagnatura della parete, per evitare che il supporto assorba l'acqua di impasto dell'intonaco, con rischio di distacco ovvero, più spesso, con formazione di crepe da ritiro per eccessiva rapidità di asciugatura.
- Oltre alla bagnatura, indispensabile, sono particolarmente importanti le condizioni ambientali al momento dell'intonaco.

catura: pareti eccessivamente calde, soleggiate o battute dal vento e bassa umidità relativa dell'aria (il ritiro aumenta sensibilmente al diminuire dell'umidità ambientale) non sono certo condizioni ideali per eseguire buone intonacature.

- Queste cure devono essere applicate anche e soprattutto alle pareti realizzate in supporti molto porosi. Se poi un intonaco, anche applicato secondo ogni magistero, viene tinteggiato prima che abbia completato la sua naturale maturazione e quindi esaurita tutta la fase di ritiro e di buona parte del ritiro di indurimento, le microcavillature, prevedibili in funzione della natura stessa dell'impasto, compariranno inevitabilmente sulla superficie tinteggiata.

Per contenere le cavillature sugli intonaci è necessario:

- a. costruire la muratura con giunti di malta verticali e orizzontali ben costipati, senza vuoti o rientranze rispetto ai blocchi;
- b. bagnare il muro prima delle operazioni di intonacatura;
- c. porre particolare attenzione alle condizioni termigrometriche evitando di operare con temperature troppo elevate, vento, umidità ambiente troppo bassa (le condizioni ideali sono quelle comprese fra i 5 e i 20 °C, con Ur pari al 50% circa);
- d. realizzare l'intonaco almeno a tre strati;
- e. consentire la maturazione dello strato di rinforzo prima di posare lo strato di corpo e finitura;
- f. bagnare l'intonaco per qualche giorno;
- g. tinteggiare solo a indurimento avvenuto. Attendere almeno 20 giorni prima di applicare la pittura calce sulla superficie preventivamente inumidita se si opera in giornate particolarmente calde e ventilate.

5.3.3 Graffito o sgraffito

Il graffito è un intonaco costituito da due strati di colori differenti. Incidendo il primo strato ed asportandolo secondo lo schema decorativo previsto, compare quello sottostante di colore diverso.

Le decorazioni a graffito si ottengono coll'applicare al rinzaffo di calce rustica lasciato convenientemente essiccare, uno strato di pochi millimetri di calce mista al colore generalmente scuro che si vuole avere per fondo. Su questo strato bene spianato, si stende con un pennello una tinta di latte di calce uguale a quella quasi bianca che deve avere tutto il muro di facciata; poi con una punta d'acciaio si toglie la tinta, in modo da scoprire il fondo scuro secondo il disegno che si vuole avere, e che sarà prima stato tracciato.

5.4 Calcestruzzi

Il termine calcestruzzo che è generalmente associato ad un materiale da costruzione moderno, include in realtà anche materiali composti a base di calce aerea, largamente utilizzati nell'antichità.

Calcestruzzo deriva dal latino *calcis structio*, che significa struttura composta da calce.

Solamente dopo il XVIII sec. sono chiamati in questo modo tutti i conglomerati artificiali costituiti dall'impasto tra un legante, acqua, sabbia e frammenti di pietra di varia dimensione.

Già nel 300 a.C. i romani realizzarono un conglomerato calce-pietra con straordinarie caratteristiche meccaniche.



Immagine 5.2 Il Pantheon a Roma

Vitruvio nel “De Architectura” parla del calcestruzzo (opus ceamentium) composto di pezzi di tufo, pozzolana e calce (il Pantheon a Roma è stato realizzato con questo materiale, immagine 5.2).

La differenza tra il moderno calcestruzzo e l’opus ceamentium sta pertanto non tanto nel metodo di posa ma nel tipo di legante utilizzato: oggi si usa il cemento, mentre in passato la calce aerea e la pozzolana.

Il calcestruzzo formulato con la calce viene utilizzato in tutte le epoche grazie alla notevole riduzione dei costi del legante ottenuta tramite l’aumento del volume dell’impasto mediante l’inserimento di uno scheletro grossolano che ne migliora anche la resistenza meccanica.

5.5 Stucchi e Marmorini

5.5.1 Stucchi

Anticamente quando si parlava di “stucco” si intendeva un impasto a base di calce e di polvere di pietra o di marmo, capace di fornire un impasto modellabile e colorabile in opera prima del suo indurimento.

Oggi, comunemente ed erroneamente, con stucco ci si riferisce indistintamente sia allo stucco a base di calce sia a quello a base di gesso, ma le due forme che ne scaturiscono sono tra loro assai differenti sia negli aspetti tecnici che in quelli estetici.

In passato, con il vocabolo stucco s'intendeva esclusivamente un composto a base di calce spenta, mentre lo stucco a base gesso, prodotto tipicamente industriale dell'edilizia moderna, prende il grande sopravvento durante il XIX secolo, per ragioni principalmente economiche, di velocità e di semplicità di applicazione.

Lo stucco a calce veniva lavorato in “opera” prima che indurisse, il gesso si presta a lavorazioni a banco o a stampi e di conseguenza più adatto al processo di industrializzazione.

5.5.2 Marmorini

Anche “Marmorino” è un termine dal significato complesso che si presta ad essere sovente equivocado, e che include numerose accezioni che sono testimonianza di una innumerevole serie di variazioni nel corso della storia.

E' chiamata marmorino la malta preparata con calce spenta (grassello) mescolata a polvere di marmo e utilizzata come stucco e/o come intonaco.

Marmorino è pertanto sinonimo di stucco, quando l'impasto è trattato in modo da imitare la consistenza e la brillantezza di superfici in marmo.

Mentre marmorino può essere riferito ad un particolare tipo di intonaco (intonaco marmorato) quando è applicato come strato di finitura, composto da un impasto di grassello e polvere di marmo, ed eventualmente lucidato.

La tecnica di intonaco a marmorino è descritta nel Dizionario Tecnico del 1884: "Intonaco marmorato. Gli antichi romani facevano un intonaco colorito, e lo davano in sei distinte mani che tutte insieme non oltrepassavano la grossezza di circa 27 millimetri: le prime tre erano di calce e sabbia, o rena comune, e rispondevano agl'intonachi ordinari presentemente in uso: le altre tre mani si davano con una pasta di calce e polvere di marmo: l'ultima mano era battuta con mestola di legno e quindi arrotata con marmo per fargli prendere un pulimento matto, ossia senza lustro. Su questo intonaco si davano i colori, che si mantenevano brillanti strofinandoli con cera strutta nell'olio purissimo e data a caldo. Quando era raffreddata, si faceva struggere di nuovo, avvicinando al muro un caldano e si lasciava che l'intonaco se ne imbevesse a saturazione".

L'impiego del marmorino per le finiture degli edifici era conosciuto già al tempo dei Romani, Vitruvio ne parla infatti nel I° secolo a.C. nella sua opera "De Architectura"; a quel tempo veniva usato in spese e multiple stratificazioni che arrivavano anche a dieci centimetri, ottenendo così una superficie liscia, compatta e piana. Talvolta i primi strati erano costituiti da calce e coccio pesto che, essendo poroso, era in grado di assorbire una maggiore quantità di sali solubili nelle murature umide. Ovviamente simili realizzazioni imponevano l'impiego di una grande quantità di manodopera, oltre che una mirabile organizzazione del lavoro, perché necessitavano di una lavorazione particolarmente energica sia per fare compattare l'inerte sia per fare trasudare l'acqua dell'impasto sulla superficie.

Nel medioevo l'intonaco con polvere di marmo fu utilizzato solo per le stesure di base da dipingere poi ad affresco. Tale impiego rimase

limitato all'area dell'alto Adriatico e forse trae le sue origini nel Regno Romano d'Oriente.

L'organizzazione del lavoro di allora non consentiva lavorazioni complesse, infatti troviamo realizzazioni in un'unica stesura, di soli due o tre millimetri, con la superficie lisciata e caratterizzata da ondulazioni, una superficie bianca come quella di una tavola per dipingere.

Si dovrà attendere il Rinascimento per vedere la riscoperta del "marmorino" nell'ambito della più generale attenzione per la cultura classica.

Dalla fine del Quattrocento si realizzeranno tutta una serie di costruzioni che cercheranno di riprendere l'architettura romana e queste inizieranno ad avere una semplice lisciatura a calce e polvere di marmo su un intonaco con sabbia, quello che oggi chiameremmo spatolato di calce, allora realizzato a cazzuola, che via via si completa nella sua configurazione originaria di marmorino con lo strato di cocciopesto. Questa elegante finitura caratterizzerà molta dell'architettura veneziana del rinascimento, impreziosirà i fronti che si specchiano sul Canal Grande, confondendosi con quelli in pietra d'Istria, così come molte superfici meno importanti dei centri storici veneti. Il marmorino caratterizzerà anche le mirabili opere architettoniche di grandi artisti veneti come Jacopo Tatti, detto il Sansovino, Andrea di Pietro dalla Gondola, detto il Palladio, Vincenzo Scamozzi e tanti altri. Opere come le Procuratie Nuove, le chiese di San Giorgio e del Redentore a Venezia, le ville venete della Malcontenta, di Maser e della Rotonda, la Loggetta di San Marco a Venezia sono tutte opere apprezzate nel mondo anche per la loro preziosa finitura. Una finitura che simulava il materiale nobile della pietra come ci ricorda il caso di Palazzo dei Diamanti a Ferrara dove la parte di rivestimento in pietra giunge sino alla fine del piano nobile ossia dove l'intonaco imitava l'effetto della pietra; un espediente questo che caratterizzerà molte architetture del tempo.

Il Sei e il Settecento è il periodo che presenta la maggiore diffusione del marmorino, soprattutto nell'area Veneta. Lo strato di calce e polvere di marmo si configura con un maggiore spessore, mediamente quattro millimetri, e la lavorazione avviene mediante ferri più ampi che consentono un perfetto livellamento della superficie. Queste stesure allora insistevano di norma anche su di un altro strato, costituito da calce e cocciopesto, il quale risultava particolarmente indicato nelle

zone umide. Da tali realizzazioni che caratterizzeranno le superfici di moltissime edificazioni del Veneto, deriverà anche la denominazione di “marmorino veneziano” che si riferisce proprio all’insieme di questi diversi strati di intonaco.

Parimenti alla pietra naturale anche la pietra artificiale, il marmorino, veniva trattata per aumentare la sua lucentezza e la sua resistenza agli agenti atmosferici, e ne “L’Architettura” di Leon Battista Alberti apprendiamo di una finitura a cera e di una a sapone. La prima di queste finiture, in realtà un insieme di cera e resina mastice con un po’ d’olio, veniva applicata ad intonaco asciutto e veniva fatta penetrare nella superficie con il calore dei bracieri, poi la superficie doveva essere strofinata accuratamente sino alla lucidatura. La seconda di queste finiture era decisamente più semplice e prevedeva la lisciatura dell’ultimo strato irrorandolo con il sapone bianco sciolto in acqua tiepida. L’effetto di queste due finiture era decisamente opposto, la prima portava ad una saturazione cromatica, quindi adatta per le realizzazioni di piccole misure con intense colorazioni, mentre la seconda portava ad un biancore della superficie, più adatta quindi alle ampie pareti chiare. Bisogna fare presente che talvolta l’operazione di encausticazione viene confusa con l’antica tecnica dell’encausto, che invece è il dipingere con colori mescolati a cera sull’intonaco.

Nell’Ottocento abbiamo un grande cambiamento dovuto all’incremento dei costi della manodopera e, per questo motivo, le laboriose lavorazioni a calce diventano sempre più rare e aumentano le realizzazioni e le ricette di cosiddetti “marmorini” costituiti da gesso e colla.

5.6 Tinte a calce

Le proprietà tecniche ed estetiche delle tinte a calce, quali l'efficienza chimico-fisica, la traspirabilità, la compatibilità con il supporto, la morbidezza dei toni, la ricchezza e la brillantezza delle componenti cromatiche ecc., comparate con quelle d'altri tipi di pittura murale sono note da sempre e, ancor oggi oggetto di grande attenzione.

La calce dispersa in acqua fino a raggiungere l'aspetto di latte vaccino rappresenta il più antico, economico e nobile sistema di finitura delle superfici architettoniche, interne ed esterne. Le tinte a calce consentono altresì la realizzazione di una ricchissima "tavolozza di colori", utilizzando pigmenti inorganici (terre naturali) ed ossidi minerali. Ma la qualità e la tenuta di un trattamento con pitture a calce dipende in larga misura dalle modalità d'impiego seguite, dalla competenza e dalla sensibilità delle maestranze.

Dagli anni '60 del Novecento, le tradizionali tinteggiature murali a calce sono state rapidamente e completamente soppiantate dalle moderne "idropitture" a base di leganti polimerici e pigmenti ottenuti per via chimica.

La diffusione di queste pitture ha dato luogo a tutta una serie di inconvenienti, particolarmente gravi per gli edifici storici. Oggi assistiamo ad un progressivo ritorno alla tinteggiatura a calce perché dotata di alcune qualità che la rendono unica.

Tra queste:

- 1) le pitture a calce proteggono le murature in modo perfetto, assicurando soprattutto traspirabilità e benessere abitativo, fattore molto spesso disatteso dalle pitture moderne;
- 2) le tinte a calce hanno una compatibilità chimico-fisica totale rispetto agli intonaci a calce, evitano il fenomeni di esfoliazione e il conseguente degrado delle murature;

- 3) la manutenzione delle tinte a calce è semplice ed economica, non richiede ad esempio la rimozione degli strati precedenti, né l'applicazione di primer sintetici che assicurino la tenuta degli strati sovrapposti a quelli più antichi;
- 4) le tinte a calce hanno un altissimo valore estetico (determinato dalle proprietà ottiche della calcite);
- 5) la profondità e varietà delle tinte a calce, sono qualità non raggiungibili da nessun altro tipo di pittura.

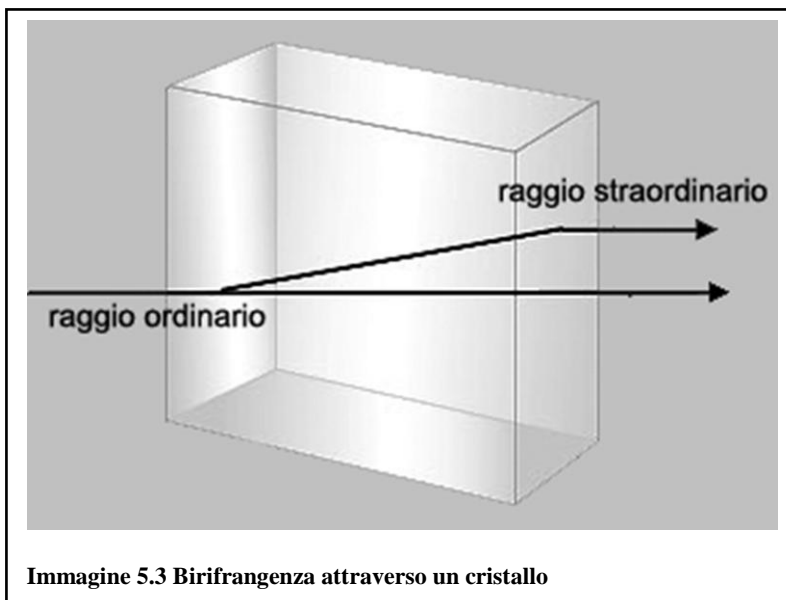
5.6.1 Le proprietà ottiche della calcite e delle tinte a calce

Una delle più importanti proprietà fisiche della calcite è la birifrangenza ossia lo sdoppiamento dei raggi luminosi che attraversano un cristallo, immagine 5.3.

Se si pone un romboedro di sfaldatura trasparente su di un punto disegnato su di un foglio di carta e lo si osserva attraverso il cristallo, il punto apparirà sdoppiato. Se si ruota il cristallo si noterà un punto che rimane fermo (raggio ordinario) ed un punto che ruota assieme al cristallo stesso intorno al punto fermo (raggio straordinario).

La birifrangenza è una caratteristica fisica di tutti i minerali dimetrici e trimetrici, ma è particolarmente evidente nella calcite grazie alla grande differenza tra i due indici di rifrazione che rispettivamente per il raggio ordinario (1.658) e per quello straordinario (1.486).

Ciò spiega perché una tinta a calce, che dopo la carbonatazione è formata da una coltre di miliardi di cristalli di calcite di piccolissime dimensioni, offre qualità estetiche uniche e irripetibili.



5.6.2 Il colore della calce

Nel passato, in tutta Italia, la diversa denominazione dei calcari, impiegati come materiale da costruzione e soprattutto per la produzione della calce, variava principalmente in funzione delle caratteristiche morfologiche dei litotipi usati. Sin dal tardo Quattrocento sono ricordati, per esempio, la “pietra d’Albettone”, il “sasso d’Albizzano”, il “sasso albano”, il “sasso coltellino”, “il sasso albarese” ed il “sasso porcino”. In particolare, l’Albarese (o Alberina) era così chiamata per le piccole figure d’alberi che si vedono comunemente sulla faccia del taglio di questa sorta di pietra, tipica dell’appennino tosco-umbro-emiliano. In ogni cantiere del passato, per la sua diffusione, il sasso Alberino corrispondeva alla pietra da calce per eccellenza. Esso veniva selezionato in base alla sua lavorabilità, grana e colore, distinguendolo eventualmente dall’Albazzana per il colore più scuro che quest’ultima mostrava, immagine 5.4.

L’approvvigionamento del materiale avveniva preferibilmente in cava ed era affidato a maestranze specializzate; e la cottura della marna, raccolta nelle cave storiche, ed il successivo spegnimento, era invece



Immagine 5.4 Esempio di inerti colorati

condotto da esperti Mastri da Calcina. L'attenzione posta nella scelta del calcare aveva come fine il controllo qualitativo della produzione e l'impiego differenziato dei tipi di calce ottenuta. Ricorre, infatti, frequentemente la distinzione fra calcina forte, impiegata prevalentemente nelle malte di allettamento murario e formazione degli intonaci, e calcina dolce, usata per il confezionamento dei tonachini, delle finiture e delle scialbature.

L'esame della documentazione archivistica e della letteratura scientifica dei secoli, che vanno dal '400 al '700, ha quindi evidenziato una notevole articolazione delle conoscenze empiriche nella scelta dei materiali per la preparazione della calce. In tutto il territorio nazionale, con il termine di "sassi forti" sono stati tradizionalmente denominati tutti i calcari marnosi, così come nei medesimi luoghi, le calci ottenute da queste marne, venivano definite genericamente "Albaresi".

Obiettivo principale dell'indagine intrapresa sulle calci idrauliche naturali storiche, è stato quello di verificare, mediante metodologie analitiche oggettive, quanto riportato nella letteratura del passato sulle caratteristiche dei differenti tipi di Albarese e sulla proprietà delle calci ottenute. A questo scopo, i calcari e le marne studiati sono stati sottoposti a cottura per realizzare sperimentalmente campioni di calce così come descritto nei vari documenti d'archivio e testi presi in esame.

Particolare attenzione è stata rivolta alle temperature di cottura, scelte in un intervallo compreso fra 750° e 950°C, tenendo presente che la produzione della calce avveniva per calcinazione della pietra in fornaci a cottura intermittente, impiegando legname e fascine come combustibile. Sulla base dei risultati ottenuti, è stato possibile differenziare le calci in relazione alle temperature di cottura ed ai principali parametri mineralogico-petrografici delle rocce di partenza.

L'indagine, seppur empiricamente condotta, ha avuto come scopo di mettere a confronto i risultati cromatici delle calci poste in esame e le connotazioni lessicali che ci pervengono dagli scritti classici e la documentazione d'archivio. Qual'è il significato degli aggettivi che identificano i colori delle calci idrauliche naturali del passato? Laddove il Palladio definisce "nigra" la calce Padoana d'Albettono, a quale colore allude?

Lo Scamozzi, fonte inesauribile di conoscenza dei luoghi di provenienza proprio di questa sorta di pietre da calcina, descrive i medesimi calcari marnosi come pietre che "son molto gravi e pesanti, del color

del gesso da sarto, cioè non molto bianche, e di natura fragili e vetri-
gne, con qualche suono e poco lustro”.

E' sorprendente scoprire che i molti calcari forti calcinati, presi dai
luoghi descritti dai nostri predecessori, di fatto non mostrano colora-
zioni così evidenti come le valutazioni cromatiche tramandateci sem-
brano suggerire.

I termini nigra, moretta, bigia, gialliccia, berettina, livida, assumono
ben altro significato allorquando si può personalmente giudicare il co-
lore di queste calci dopo la loro calcinazione ed il successivo spengi-
mento.

Si può concludere che il termine “non molto bianche” dello Scamozzi
sia il giudizio più vicino alla realtà.

Il colore delle calci idrauliche naturali, una volta calcinate, estinte, la-
vorate ed asciugate, vira dal giallastro pallido ad un debole nocciola
rosato, ad eccezione delle piemontesi Lauriano e Pontestura, dove il
tono rosato sembra leggermente più vivace, ravvivato da una punta
d'aranciato.

Il Cataneo, nel 1554, annota: “Quando qualche parte della fabbrica
nella qual si lavorasse di stucco, per causa di grotte, terreno o altro ac-
cidente sentisse humido, ovvero per li lavori delle fontane, sar a in tal
caso molto a proposito, non solo murare l'ossa sotto di calcina Albaz-
zana, ma ancora la prima coverta pi grossa sopra tali ossa farla di
stucco impastato con calce Albazzana, quando questa come habbiamo
detto fa all'umido meravigliosa presa; ma per esser molto livida, si far
sopra quella la coverta di fuore di stucco impastato di calcina bianca”.

Il geniale architetto restauratore, usa la calce idraulica “Albazzana”
per rifare intonaci caduti a causa dell'umidità di risalita e sembra loda-
re incondizionatamente questa materia, ignorando del tutto il colore
molto livido di questa, avendo poi l'accortezza di coprirla con un to-
nachino di calce grassa bianca.

L'Abate Filippo Juvara, nelle istruzioni per la Palazzina di Caccia da
farsi a Stupinigi, di suo pugno prescrive: “Le calcine che si devono
adoperare per le dette muraglie sino a un trabucho fuor di terra sar la
calcina di Superga forte, ben bagnata e purgata e curata di tutte le gi-
are e pietre n' cotte, e questa sar' in pietra e n' in polvere”. Qui egli fa
riferimento alla calcina forte, di color giallo chiaro, di Superga dai ca-

ratteri di debole idraulicità. Ma in questo ed altri documenti si vedono prescrivere la moretta di Rivara, la bigia di Casale, la giallo-aranciato, con morbide sfumature, di Pontestura e quella di Lauriano dal tono più acceso; tutte calcine magre dalle pallide colorazioni, ovvero calcari con qualche parte d'argilla, i quali, una volta calcinati, venivano dati "in pietra" da spegnersi o "in polvere" già spenta.

Il campionamento delle pietre da calce è stato effettuato in cave sfruttate sino al recente passato, abbandonate o in disuso, che si trovano sparse sulle alture della zona iscritta nell'area di cui si è detto sopra, così come descritto dagli architetti rinascimentali. I sei campioni di pietra prelevati sono stati uniformemente franti e ridotti ad un'unica granulometria di 2 centimetri circa. I campioni sono stati quindi sottoposti a cicli di cottura costanti in muffola, della durata di 18 ore ciascuno. Nel forno si sono simulate temperature di cottura raggiungibili con il tradizionale combustibile costituito da fascine di legna. La temperatura iniziale della massa, pari a 750°C, è stata successivamente e progressivamente innalzata a 800°C, 850°C, 900°C e 950°C.

Ciò che costituisce oggetto di sorpresa, è che i calcari marnosi presi in esame, che all'aspetto si mostravano originariamente fra il liscio ed il rugoso, e che sulla superficie di taglio fresco appaiono di un colore che vira dal nocciola chiaro con patine ocracee al biancastro-azzurrognolo, una volta calcinati e spenti, mostrano toni cromatici del tutto inaspettati. Le calci idrauliche naturali in polvere virano dal gialliccio spento-opaco al nocciola rosato; dal bigio al bigio-nocciola; dal bigio scuro al nocciola-rossastro; dal nocciola-ocra al nocciolino chiaro, similmente a quanto si è potuto verificare dall'indagine cromatica già condotta sulle originarie malte impiegate nell'architettura del nostro centro e sud d'Italia. Concludiamo notando che, né la frazione argillosa contenuta nelle Alberine, né il rapporto nella terna (Allumina, Silice, Ferro), che compone l'argilla medesima, può far predire il colore delle marne cotte o le malte con esse confezionate. Ciò fa sicuramente ritenere che in passato, solo la specifica conoscenza dei siti di approvvigionamento delle materie prime e la tradizione, fossero gli elementi che determinavano i cromatismi derivanti dal colore delle calci usate.

5.7 Il cocciopesto

A prescindere dalle modifiche locali e dalle varianti artistiche dei singoli, i mastici preparati con l'intento di farli durare nel tempo, derivano tutti dall'antico uso dei mastici inventati per tonacare le superfici interne delle cisterne per l'approvvigionamento idrico. La loro funzione e la conoscenza della loro preparazione risalgono probabilmente ai periodi in cui si costruirono le prime riserve d'acqua.

Il perfezionamento di tale pratica ha dato nei secoli un carattere di uniformità a tutta la cultura del costruire dei popoli civilizzati, con modi, gesti e conoscenze da sempre tramandate e ripetute.

I lacerti di spessi strati di Opus Signinum, che ricoprono l'interno delle cisterne del periodo di Salomone, in Israele (IX sec a.C.), le solidissime croste di Qadad, il tipico intonaco che ricopriva le pietre squadrate dell'antica diga di Maribi, nello Yemen, le impermeabili intonacature di Tabbì che difendevano le mura degli edifici della Numidia, sono ben descritti nell'aurea opera di Vitruvio.

Impastare la calcina viva con olio, ed additarne la mestica con albume d'uovo, sembra fosse stata la pratica più diffusa. Al legante così preparato venivano aggiunte sabbie e scaglie di marmo per confezionare malte, che sovente venivano applicate su spessi strati di cocciopesto. Gli smalti così preparati ed applicati, venivano ripetutamente battuti e costipati mediante l'uso di speciali mazzeranghe e pestelli, detti baculus, ed altri simili strumenti. L'operazione di battitura degli intonaci freschi sembra essere stata l'inderogabile regola che gli artigiani dovevano scrupolosamente osservare per ottenere degli smalti di eccezionale qualità di durezza ed impermeabilità.

Vitruvio così suggerisce: “Etiam i fluviatrica aut in marina si qui testam tunsam et succretam ex tertia parte adiecerit, efficiet materiae temperaturam ad usum meliorem” e come tradotto dall'Amati, nel 1829, il consiglio recita: “se nell'arena, di fiume o di mare, vi si aggiungere una terza parte di matton pesto, e passato pel vaglio, diverr la calce di miglior riuscita e forza”.

Mettere assieme calce e cocchiopesto significa conferire alle malte, composte con questi due materiali, un carattere di idraulicità che altrimenti non si avrebbe usando le comuni sabbie. Tra le due materie amiche vi è, infatti, un'affinità chimica, che è, peraltro, la stessa affinità che il materiale fittile, che costituisce le murature, ha con le malte di calce. L'antica regola insegnata, per far penetrare la calce nei più profondi meandri e le porosità dei mattoni, consisteva nel bagnare fino a saturazione il muro, in modo che la calce ad esso sovrapposto si veicolasse il più possibile radicalmente all'interno del cotto per reagire idraulicamente con gli strati più intimi della materia. Da ciò la ragione della reiterata battitura delle malte fresche. Battere la malta significava anche spingere i granuli di calce all'interno delle porosità, vuotando queste dall'acqua contenuta. Su questa pratica discutono i progettisti di tutti i tempi e ne fanno espresso riferimento nelle loro pubblicazioni. Lo Juvara, per esempio, con esasperato puntiglio insiste che i suoi mastri tuffino i mattoni in un "cebro" d'acqua prima di servirsene. Il minuzioso Viola Zanini raccomanda: "Devono anco le muraglie esser ben bagnate fino a tanto che gettandovi l'acqua vadi a basso senza fermarsi sopra il muro, lasciando nel bagnar qualche volta impassire il muro, e se posta ancor l'orechia al muro, finito di bagnare, non si senta rumor di friggere, dar segno di essere bagnato a sufficienza".

Sugli spessi strati di malta di cocchiopesto, i romani applicavano un *Opus Marmoratum temperato* con oli ed altre materie organiche, steso a più strati e levigato alla perfezione; e quando l'intonaco si era perfettamente asciugato, su di esso veniva soffregato altro olio o grasso animale al fine di garantire l'impermeabilità e la durabilità delle materie. Parlando della lavorazione del cocchiopesto non si può, però, tralasciare una delle più peculiari pratiche di finitura superficiale che in passato hanno mirabilmente sfruttano le caratteristiche della reazione di presa idraulica fra calce e polvere di mattone: la sagramatura.

5.8 La sagramatura

La sagramatura consiste nella levigatura della superficie muraria ottenuta in modo da creare un sottilissimo tonachino (talvolta dello spessore di un decimo di millimetro) a copertura dei mattoni sui muri esterni. L'effetto finale è la formazione d'uno strato coprente, color del cocciopesto, in modo che l'opus testaceum perda ogni suo disegno di apparecchiatura, benchè, specialmente quando la parete sagramata è umida o bagnata, traspaia l'ordito sottostante.

Sull'applicazione della sagramatura sembra non vi sia una tecnica comune. La più praticata pare sia quella più dettagliatamente descritta nei manuali dell'Ottocento: nelle fabbriche che di continuo sono esposte alle intemperie delle stagioni e all'eccessivo caldo o freddo, la miglior pratica che si possa usare per l'intonaco, la cosiddetta sagramatura, ma questa non si può diligentemente eseguire che nei muri costruiti con nuovi mattoni. Come voleva l'Alberti, dopo aver eretto il muro a perfezione, con mattoni "ripresati" o "rotati" fatti preparare espressamente, alla superficie si applicava fior di calce mescolato con polvere di mattoni ben fina, poi, con forza, la superficie veniva sfregata, mantenendo il muro sempre ben bagnato, con un mattone, per ben rimestare la maltina e costiparla nelle porosità della cortina muraria. Il lavoro di sagramatura continuava senza intermissione in modo da potersi contare tutti i mattoni che compongono il muro; la superficie veniva quindi passata col taglio rovescio della cazzuola ben affilata, affinché si potesse portare il tutto ad una certa levigatura e lustro; infine, allo scopo di rendere la superficie idrorepellente, quando il paramento era ben asciutto, alla sagramatura venivano passate due mani generose di olio cotto.

A tal proposito c'è da osservare che non tutti gli operatori chiamati all'opera di sagramatura avevano a disposizione cortine murarie elevate con mattoni nuovi preparati in fornace per una così sofisticata e faticosissima pratica. Spesso il muro era già esistente e non del tutto adeguato a ricevere un siffatto trattamento: in tal caso, i mastri rabboccavano il muro con una malta di cocciopesto fino e la frattonavano per ben riempire ogni vacuo superficiale delle malte d'allettamento

originarie e portare a planarità i mattoni più rugosi. La superficie, così trattata, veniva lasciata asciugare e poi abbondantemente ribagnata; su di essa veniva posta una copertura più sottile di un intonaco ma più spessa di una sagramatura. La malta usata veniva “preconfezionata” con calce di fossa ben stagionata e polvere di coccio pesto passata al crivello. Quando il tonachino era ben fermo e non ancora asciutto, veniva energicamente liscio col taglio rovescio della cazzuola sino a ridurlo a perfetta levigatezza. Il risultato era tale da nascondere il disegno nitido della trama dei mattoni, cosicché la superficie appare continua come una unitaria campitura rosata. Questo modo di tonacare i mattoni, con un tonachino liscio, dicesi alla cappuccina.

Vi sono documenti d’archivio che raccontano di tonachini alla cappuccina tinteggiati di rosso, in modo che superfici “soffrenade e apennellate e fate rosse, parano murade de prede nove” (1449).

Benché ancora nell’Ottocento vi fossero manuali che insegnavano l’applicazione canonica della sagramatura, questa tecnica veniva in realtà quasi regolarmente compiuta “alla cappuccina”; e se la compattezza e l’uniformità del colore dato dalla sagramatura veniva a mancare, si poteva guazzare il tonachino con acqua colorata e terre coloranti per guadagnare in uguaglianza e freschezza .

5.9 I tonachini colorati

Fra le molte fonti storiche studiate, la manualistica del passato ed i documenti originari d’archivio, un prezioso insegnamento ci viene dall’inesauribile Vincenzo Scamozzi. Nessuno più di lui ci ha potuto indirizzare a soluzioni compositive, con indicazioni e consigli, così chiari e precisi, che ci hanno consentito di fare nostra una comprovata antica sapienza e tradizione. Lo Scamozzi ci ha guidati sugli antichi luoghi di approvvigionamento, indicandoci scelte qualitative e cromatiche, che permettono oggi ai professionisti del restauro di esprimersi

al meglio nell'opera di progetto e recupero del colore originale delle città.

“Che cosa sia sabbia, e varie specie e colori d'esse: e delle sabbie di cava, e di fiume, e parimente dell'Arena di Mare. Capo XX.

Perché nel murare - come dicemmo poco fa - si ricerca la calce, e sabbia simile equivalente; e perciò in questo luogo tratteremo della sabbia, e dell'Arena, e del Carbonchio, della Pozzolana, e del Grappillo, e della Beletta, e finalmente se altre cose vi sono, che possono servire questo effetto, e prima dimostreremo che materie siano, di che si facciano, dove si ritrovano la differenza tra esse, la scelta, e l'uso loro, e gli effetti che esse fanno nelle malte; accioche assai perfettamente si habbia cognitione di tutte esse. Per opinione nostra la sabbia per la maggior parte non viene ad esser altro, che i fragmenti di varie sorti di pietre, lequali per esser di natura venose, e frangibili, e perciò col tempo si staccano dalle montagne, sono levate violentemente da varii accidenti; e così rottolando già si spezzano, e pervengono ne' torrenti, e ne' fiumi che scorrono qui, e per quelle Valli; e condotti giù dall'acque si logorano, e si riducono in sabbia. E che ci sia vero lo comprendiamo chiaramente per questi nostri fiumi di qualche nome dell'Italia: come il Tevere, & Arno, & il Rheno nell'Apennino, & il Tesin, & Adda, e tanti altri che derivano nel Pò di Lombardia, e l'Adice, e la Brenta, e la Piave, & il Tagliamento, e molti altri in questa Marca Trevigiana, e nella Patria del Friuli, (per non trattar hora di quelli di là da' monti) i quali nascono nelle principali montagne di queste Alpi interne, & esterne dell'Italia, e scorrono per balze, e dirupi, e luoghi sassosi: onde con l'empito loro lievano molti sassi, i quali per il lungo viaggio urtando l'un l'altro si spezzano, e si frangono, e si logorano, & alla fine si riducono in minutissima sabbia.

La bontà delle sabbie, cosi di cava, e di fiume, come anco le Arene di mare, si conoscono molto bene con i sensi; perchè le migliori si veggono lucide come il sale grosso, molto nette da beletta, e da terra, e da ogni bruttura, e dove ella si piglia, che non habbia ne sterpi, ne radici, ne herbe: siano di color rovaniccio, rossiccio, gialastro, bianchiccio, secondo natura de' sassi de' quali ella sarà logorata, i quali non possono esser conformi in tutti i luoghi. Quando ella sarà tale non torbider l'acqua chiara, ancorche meschiata dentro di essa: ne imbrutter le vesti bianche, veramente di altro colore, se ella vi sarà aspersa sopra; ma le lascier nette, e senza alcun segno di macchia. All'udito stoppic-

ciandola con le mani stridi, e nel cadere faccia il suono del sale grosso, del marmo franto, e pesto.”

Il legante, ottenuto dalla calcinazione a bassa temperatura di calcari dolomitici, è rafforzato con purissimo metacaolino, che conferisce ai manufatti applicati, una straordinaria resistenza agli agenti chimici, garantendo longevità e durezza dei toni cromatici. Fra le molte prove realizzate, sono stati riprodotti i colori che più frequentemente si sono ritrovati in tonachini storici. Fra questi: il bianco San Giovanni; il Travertino, il tufo, il giallo “pietra leccese”, l’arenaria gialla, l’arenaria bigia, il basalto catanese, la sagramatura rossa cocchio, la sagramatura gialla di Argenta, il bigio e azzurro del color aria, il rosa Assisi e molti altri toni cromatici che ancora oggi si celano sotto le croste dei più recenti tinteggi.

5.10 Affresco

La pittura a fresco più comunemente chiamata “affresco” è una tecnica di pittura murale privilegiata fin dai tempi antichissimi.

Secondo l’etimologia della parola con affresco s’intende ogni pittura eseguita stendendo il colore (ottenuto semplicemente stemperando i pigmenti in acqua) sull’intonaco fresco, cioè non ancora consolidato o meglio non ancora carbonatato.

I pigmenti, scelti tra quelli compatibili con la calce, sono fissati alla parete ed entrano a far parte dei processi di carbonatazione della calce contenuta nell’intonaco e dalle reazioni che portano a formazione di carbonato di calcio e silico-alluminati che danno garanzia di compattezza e durezza.

La pittura affresco necessita di un buon supporto, perciò arriccio, intonaco e intonachino devono essere stesi con tutte le cure possibili, te-

nendo in gran considerazione la scelta degli aggregati e i rapporti con la calce.

L'affresco richiede, inoltre, una certa velocità d'esecuzione perché la superficie d'intonaco deve essere dipinta prima che si compia il processo di carbonatazione: da qui la pratica di procedere all'applicazione dell'ultimo strato d'intonaco e alla pittura per zone limitate (giornate o bancate).

5.10.1 Cenni sulla tecnica dell'affresco

La tecnica dell'affresco ha subito rilevanti modifiche nel corso dei secoli. Se già nell'antica Grecia se ne conosceva probabilmente il procedimento, esso fu certamente applicato nelle opere realizzate a Pompei. Dall'epoca paleocristiana all'alto Medioevo, l'esecuzione dell'affresco è stata legata al sistema detto delle "pontate", che prevedeva la lavorazione per livelli successivi della fascia di muro antistante i ponti delle impalcature. A questo procedimento andò sostituendosi, nell'arte italiana di fine Duecento, l'usanza di lavorare "per giornate", stendendo cioè il tonachino solo sulla porzione di muro che si intendeva dipingere durante la giornata. L'utilizzo del sistema delle "giornate" è essenzialmente legato al nome di Giotto, che inaugurò il nuovo metodo nella grande navata della Basilica Superiore di Assisi. Nello stesso periodo, si diffuse la tecnica delle "sinopie", disegni preparatori color ocra rosso realizzati sopra il disegno a carboncino precedentemente tracciato sullo strato di arriccio. Le più antiche e complete notizie sulla tradizione della pittura a fresco legata a quest'epoca ci sono offerte dal Libro dell'arte di Cennino Cennini (circa 1390). L'utilizzo delle sinopie sopravvisse fino al XV secolo, quando fu sostituito dal sistema dello "spolvero". In questo procedimento il disegno preparatorio veniva realizzato su carta della grandezza dell'affresco da eseguire, che veniva perforata con punte di metallo che ne seguivano i contorni; applicata poi la carta sull'intonaco, vi si passava sopra un sacchetto di

polvere di carbone che, penetrando attraverso i piccoli fori della carta, riproduceva i tratti del disegno sulla superficie del muro. A partire dall'inizio del Cinquecento, la carta utilizzata per il disegno preparatorio venne sostituita dal "cartone", che permetteva di fissare sull'intonaco i contorni della composizione evitando il procedimento dello spolvero. Poggiato il cartone sull'intonaco umido, con uno strumento a punta si esercitava una lieve pressione sui contorni del disegno che vi era rappresentato, in modo da lasciarne una traccia sulla parete sottostante. All'artista spettava quasi esclusivamente il compito di realizzare il disegno preparatorio, mentre l'esecuzione a fresco era lasciata alla mano degli aiutanti.

Altra tecnica di pittura murale è quella denominata "a secco", che consiste nell'intervenire sulla parete asciutta con colori a calce o a tempera. Questo sistema, già presente nella cultura bizantina e romana, è prevalentemente usato per completare e perfezionare le pitture a fresco. A differenza di queste ultime, che rimangono saldamente consolidate con il corpo della parete, le pitture a secco si caratterizzano per la loro maggiore fragilità.

5.10.2 I colori compatibili con la pittura a fresco

Non tutti i pigmenti possono essere usati ad affresco. La causticità della calce "aggregisce" infatti taluni pigmenti e in alcuni casi ne altera completamente le caratteristiche cromatiche.

I pigmenti non compatibili con la calce vanno usati a secco, cioè mescolati con del legante organico e stesi sulla superficie muraria quando il processo di carbonatazione è completato.

Nella tabella che segue sono elencati i principali pigmenti utilizzabili nell'affresco, la tabella riporta altresì la composizione chimica e le indicazioni sulla stabilità alla luce e all'aria.

Nome	Composizione	Stabilità	Affresco
Bianco di titanio	Biossido di titanio	****	Si
Blu ceruleo	Stannato di cobalto	****	Si
Blu cobalto	Aluminato di cobalto	****	Si
Blu di manganese	Manganato	***	Si
Blu oltremare	Solfuro di sodio e silicato di alluminio	****	Si
Giallo cadmio	Solfuro di cadmio	****	Si
Nero (Lacca)	Anilina	**	Si
Nero fumo	Prodotto di carbonizzazione	****	Si
Ocra	Terra naturale	****	Si
Ocra gialla	Terra naturale	****	Si
Ocra rossa	Terra naturale	****	Si
Ombra bruciata	Terra naturale calcinata	****	Si
Ombra naturale	Terra naturale	****	Si
Arancio di Marte	Ossido di ferro	***	Si
Rosso di cadmio	Solfoseleniuro di cadmio	****	Si
Rosso di Marte	Ossido di ferro	****	Si

Capitolo V

Rosso di Pozzuoli	Terra naturale	****	Si
Rosso di Venezia	Ossido di ferro	****	Si
Rosso di molibdeno	Molibdato di piombo	****	Si
Cinabro	Solfuro di mercurio - rosso di toluidina e sali minerali	**	Si
Terra di Siena bruciata	Terra naturale	****	Si
Terra di Siena naturale	Terra naturale	****	Si
Terra verde	Terra naturale	****	Si
Verde cromo	Ossido di cromo idrato	****	Si
Verde smeraldo	Ossido di cromo idrato	***	Si
Violetto di cobalto	Arseniate di cobalto	****	Si

5.10.3 Come riconoscere un affresco da una pittura a secco

Alcune semplici constatazioni possono essere di aiuto per riconoscere un affresco da una pittura a secco. Nel caso queste non fossero sufficienti si può ricorrere ad analisi di laboratorio.

Elementi da osservare:

- Brillantezza e durata dei colori. Una tinta stesa ad affresco in genere risulta più brillante per la ricristallizzazione della calcite in superficie. Il velo di calcite è responsabile anche della buona durata che di solito hanno gli affreschi. Questi elementi, da soli, tuttavia non sono discriminanti;
- Gamma cromatica limitata. Negli affreschi alcuni tipi di pigmento non possono essere usati perché a contatto con la calce si alterano. Solo una gamma piuttosto limitata di colori, quindi, può essere utilizzata negli affreschi. Questa è la ragione per la quale, laddove si voleva arricchire il dipinto con una varietà maggiore di colori, si prevedevano campiture da stendere “a secco”;
- Segni sulla superficie. In alcuni casi osservando una superficie dipinta con luce radente, si possono notare vere e proprie incisioni corrispondenti al disegno.

Spesso in questi casi si è portati a dire erroneamente che si tratti di superficie dipinta “ad affresco”. In realtà l’incisione è stata effettuata quando l’intonaco era ancora fresco, è possibile però che il colore, per le ragioni più diverse (economiche, di capacità tecnica, contingenze varie ecc.) sia stato steso successivamente “a secco”. La mancanza di queste incisioni, d’altronde, non può portare a escludere una stesura ad affresco; ci sono infatti facciate colorate con un’unica campitura di colore, che non necessitano quindi di tracce particolari, tinteggiate “ad affresco” o anche superfici dipinte in cui il pittore ha utilizzato sistemi

diversi per avere una traccia sulla superficie del muro del dipinto da eseguire (es. spolvero). Più significativo per il riconoscimento della tecnica di stesura è il segno delle giornate presente solo nelle esecuzioni di affreschi.

- Modalità di degrado. In presenza di una mancanza (per degrado) di tinta a secco si potrà osservare il fondo liscio dell'intonaco su cui la stessa è stata stesa. Nel caso di un affresco nel distacco e caduta di parti della coloritura vengono compresi pochi mm o decimi di mm di intonachino (questo perché la tinta ad affresco penetra in profondità). La superficie, osservata da vicino, quindi si presenterà rugosa e contemporaneamente sbiadita. Facendo scorrere sopra di essa un dito, molto facilmente si distaccheranno alcuni granuli.

LA CALCE NEL RESTAURO

Nell'ambito del recupero e restauro di manufatti antichi, l'impiego di leganti non compatibili con i materiali preesistenti rappresenta uno dei più importanti fattori di rischio per la salvaguardia del nostro patrimonio storico-architettonico.

L'uso indiscriminato di leganti impropri, in particolare di tipo cementizio, per la formulazione di malte di allettamento, stuccatura e intonaco, a causa dell'incompatibilità chimico-fisica con i substrati tradizionali, rappresenta, a tutt'oggi, uno dei problemi principali da affrontare nel restauro di un manufatto antico.

Dati sperimentali e ricerche scientifiche individuano nella calce il solo materiale veramente compatibile con la maggior parte delle opere architettoniche costruite dall'uomo dall'antichità fino agli inizi del Novecento.

Con questa consapevolezza, risulta a tutti evidente che, nell'opera di restauro, l'impiego della calce rappresenta il più delle volte scelta obbligata e conseguenza logica di un processo di sostituzione e integrazione di un materiale preesistente, che dovrebbe orientare ogni intervento.

6.1 Calce vs cemento

La calce (calce aerea) e il cemento (Portland) sono leganti da costruzione tra loro molto diversi: ogni loro confronto risulterebbe superfluo se ciascun materiale trovasse impiego esclusivamente negli

ambiti edilizi indicati alle proprie caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche.

Così non avviene, e se è vero che l'architettura moderna e la maggior parte delle opere che vengono oggi costruite non potrebbero esistere se non esistesse il cemento Portland, è ormai riconosciuto che questo non dovrebbe, quasi mai, entrare nel restauro del patrimonio storico-artistico.


Nella realtà produttiva odierna dei leganti, la calce aerea e il cemento Portland non rappresentano che gli "estremi" di uno spettro di prodotti assai ampio, che include, ad esempio le calce idrauliche naturali, molte delle quali compatibili e utilizzabili in buona parte degli interventi di restauro.

Ciò nonostante, a fronte di totale assenza di normative di riferimento e di scarsa attenzione da parte degli operatori, il cemento Portland è a tutt'oggi ampiamente utilizzato nei cantieri di restauro.

6.1.1 Calce o cemento: vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi (✓) e svantaggi (✗) nell'uso della calce rispetto al cemento, riferiti ad una malta da impiegarsi in un'opera di restauro, sono schematizzati nella seguente tabella.

	Calce Aerea	Cemento Portland
Compatibilità con materiali dell'edilizia storica (pietre, mattoni ecc.)	✓	✗
Assenza di alcali solubili	✓	✗
Ricostruzione autogena delle fessure	✓	✗
Elasticità (modulo elastico)	✓	✗
Alta resistenza meccanica a compressione	✗	✓
Ritiro Idraulico	✓	✗
Porosità e traspirabilità	✓	✗

Economia di produzione		
Resistenza ai solfati		
Presa rapida		
Indurimento lento		
Ecologia		
Versatilità rispetto all'ambiente di utilizzo		
Manodopera specializzata		

6.1.2 Incompatibilità tra i materiali dell'edilizia storica e il cemento

L'incompatibilità tra i materiali dell'edilizia storica e il cemento Portland è determinata dalla presenza di componenti potenzialmente pericolosi: si tratta in particolare delle fasi cristalline di alta temperatura (C_3A , C_4AF), degli alcali e del gesso aggiunto al cemento in fase di produzione come regolatore di presa.

Fase	Formula	Quantità	Degrado potenziale
Alluminato Tricalcico	C3A	3-10%	Reagisce con i solfati e l'acqua determinando attacco solfatico e causando deterioramento delle malte, dei mattoni e delle pietre.
Tetracalcium Aluminoferite	C4AF	8-10%	Reagisce con il gesso causando espansioni.
Solfati	SO3	2-7%	Contribuisce all'attacco da parte dei solfati.
Alcali	Na2O K2O	1-3%	Reazione associata alla presenza di alcali nel cemento e di silice amorfa o scarsamente cristallina in alcuni aggregati. Il fenomeno è anche noto come reazione alcali-silice (Alkali-Silica Reaction o ASR).
Gesso	CaSO4	2-9%	Soggetto a espansione, determina efflorescenze.

6.1.3 Quale calce adoperare in un opera di restauro

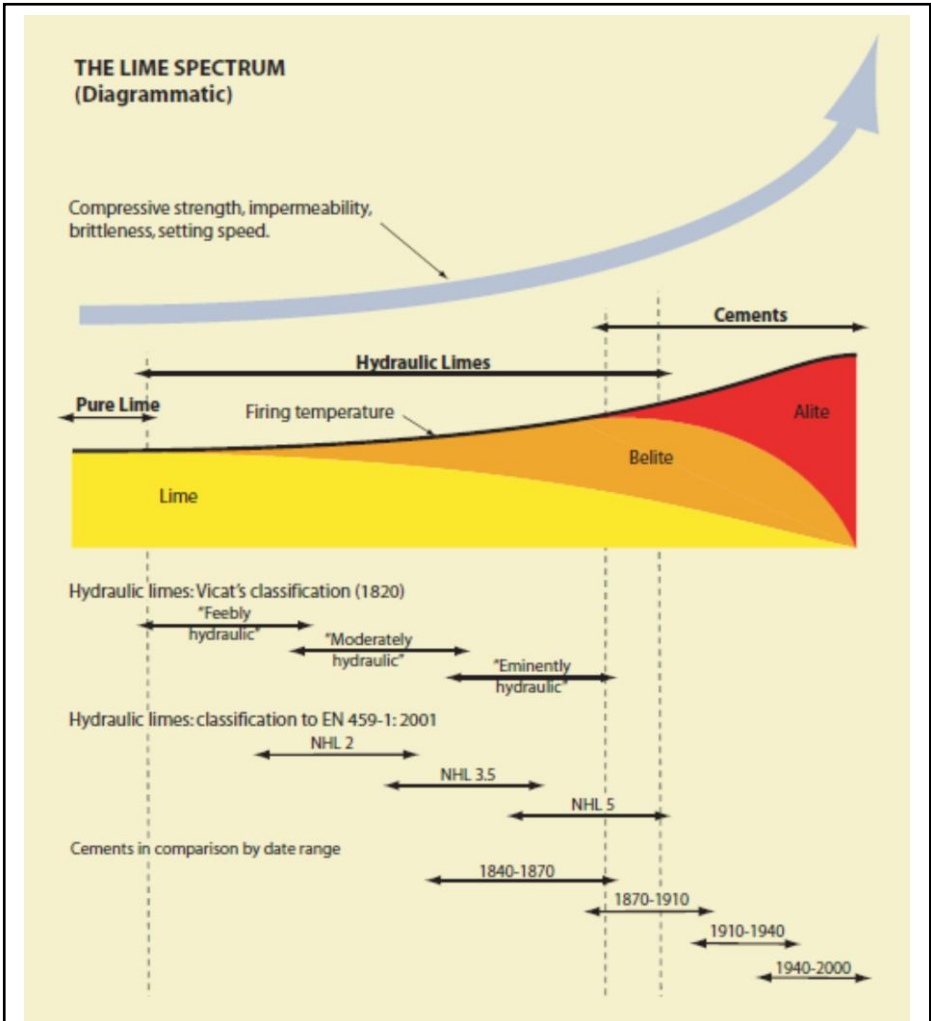
La calce pura (calce aerea) e il moderno cemento tipo Portland si trovano ai due estremi di un ampio spettro di leganti, ciascuno con caratteristiche e peculiarità differenti.

E' all'interno di questa gamma che possiamo e dobbiamo trovare i materiali idonei al restauro di un determinato edificio storico.

6.1.4 Le varianti della calce¹

La comunità interessata al restauro architettonico è, da sempre, a conoscenza dell'importanza della calce nel recupero e nella conservazione di edifici storici, nonché del pericolo risultante da un uso eccessivo e improprio dei cementi. Questo spesso si traduce nell'opporre la calce, come materiale buono, al cemento, giudicato sempre e comunque un cattivo materiale. In realtà, la calce pura (aerea) e il moderno cemento Portland si trovano ai due estremi di un ampio spettro di leganti ed è all'interno di questa gamma che possiamo trovare i materiali idonei al restauro di determinato edificio storico.

¹ *"The Lime Spectrum" testo di Ian Brocklebank.*



Diagrammi semplificati dello spettro di calci e cementi nel corso del tempo

In figura è proposta una rappresentazione semplificata dello spettro di tipi di calce e di cementi disponibili nei secoli, basato sulle principali componenti chimiche, perché dalle loro diverse qualità e quantità dipendono le differenze tra i leganti.

La presa della calce (in grigio chiaro nel diagramma) avviene per la carbonatazione dell'idrossido di calcio (Ca(OH)_2) a formare carbonato di calcio (CaCO_3), tramite una lenta reazione con l'anidride carbonica presente in atmosfera.

Questa reazione avviene soltanto in presenza di acqua, per questo motivo è essenziale che la reticolazione sia lenta e che la malta, l'intonaco o lo stucco siano tenuti umidi per settimane in modo da consentire il completamento del processo.

E' necessario mantenere un equilibrio nelle condizioni ambientali durante la carbonatazione perché se gli impasti si seccano troppo rapidamente la reazione si blocca; ugualmente avviene in presenza di un'eccessiva umidità, che provoca la saturazione dei pori nel materiale e non permette all'anidride carbonica di reagire con la calce. Bisogna inoltre evitare di lavorare con la calce quando c'è pericolo di gelo. Il materiale che fa presa per sola carbonatazione è la calce pura, chiamata calce aerea (sul lato sinistro dello spettro).

La calce aerea si trova in commercio sotto forma di pasta (grassello) o di polvere (calce idrata in polvere).

Questi materiali sono chimicamente quasi identici; la differenza sta nei diversi metodi di produzione che conferiscono loro diverse proprietà fisiche.

Il grassello è prodotto per spegnimento dell'ossido di calcio (calce viva o CaO) con un sovrappiù di acqua, la pasta che si ottiene viene lasciata maturare in seguito nel tempo; la calce idrata in polvere, viceversa, è prodotta (industrialmente) per idratazione "stechiometrica" della calce viva, usando esattamente la quantità d'acqua che serve a trasformare tutto CaO in Ca(OH)_2 .

Il processo di maturazione nel grassello permette una lenta trasformazione dei cristalli di Portlandite, tale da far aggiungere al prodotto le caratteristiche reologiche, di lavorabilità che contraddistinguono e fanno apprezzare un grassello di qualità, viceversa la calce idrata è un prodotto che non offre le stesse caratteristiche.

Questo non costituisce un problema quando la calce in polvere è mischiata con sabbia e cemento, in un cantiere edilizio moderno, mentre

non dovrebbe venire utilizzata per lavori di finitura, intonaci e pitture, per i quali si raccomanda sempre il grassello.

Le calce idrauliche sono prodotti a partire da miscele di calcare con argilla, presente in modo naturale nei calcari impuri (si originano così le calce idrauliche naturali: NHL secondo la norma EN 459-1: 2001), o tramite un'aggiunta intenzionale di quantità misurate di argille a calcari puri prima del trattamento termico (HLS nello stesso standard). Le argille, attivate dal calore, si legano con l'acqua e la calce libera nella miscela producendo una presa principalmente basata sul calcio silicato. Questa reazione può accadere anche in assenza d'aria, come per esempio sott'acqua, da qui l'origine del nome "calce idrauliche". In genere, quanto è maggiore la quantità di argilla nel materiale originale, tanto maggiore sarà l'idraulicità risultante.

Nelle calce idrauliche, ci sono due principali tipi di componenti che conferiscono idraulicità, battezzati con fantasia dai chimici del cemento come "alite" e "belite". L'alite (in grigio scuro nel diagramma) è composto principalmente da silicato tricalcico (C_3S), mentre la belite (in grigio medio) è a base di silicato bicalcico (C_2S).

In entrambi i casi sono presenti alluminati e altri prodotti chimici in quantità minori. Alite e Belite possono derivare dallo stesso materiale originale, la presenza dell'una e/o dell'altra fase dipende soprattutto dalla temperatura di cottura:

l'alite si forma solo sopra i $1260^{\circ}C$, mentre la belite si forma tra i 950 e $1200^{\circ}C$ (che è la normale gamma di temperature impiegate per la calce). L'alite dà una presa più rapida rispetto alla belite, le calce idrauliche sono costituite perlopiù da belite mentre nei cementi predomina l'alite. Recentemente è stato messo in discussione se il prodotto commercialmente denominato "cemento belitico" non debba essere considerato e classificato come una calce idraulica artificiale (HL nella EN 459-1), ma ciò potrebbe potenzialmente generare ancora più confusione.

Le calce idrauliche sono sempre costituite da miscela di calce e belite che agiscono in parallelo. Si deve tenere conto di questa doppia presenza quando si usano questi materiali, assicurandosi che abbia luogo, inizialmente, la reazione idraulica (di cui responsabile è la belite) e successivamente la carbonatazione della calce, più lenta. Quando una calce idraulica contiene poca belite, gli impasti che se ne otterranno sono più lavorabili, fanno presa lentamente e con gradualità per dare

un materiale finito molto permeabile e flessibile; una presenza più alta di belite determina indurimento più veloce, a scapito della lavorabilità, permeabilità e flessibilità. La carbonatazione segue sempre la presa idraulica, con i suoi tempi naturali finché il materiale non raggiunge lo stadio finale di indurimento, per questo motivo l'attenzione verso le condizioni ambientali in cui avvengono i processi di presa e indurimento di una calce aerea e idraulica deve essere la stessa, anche utilizzando una calce marcatamente idraulica.

Il moderno cemento tipo Portland contiene ancora belite e calce, ma la velocità e la resistenza della presa dell'alite va praticamente ad annullare gli effetti di entrambi i processi di carbonatazione e idratazione più lenti e deboli rispetto a quello dell'alite appunto. Il Portland è molto adatto alla fabbricazione del calcestruzzo armato e per alcuni aspetti "tollerata" anche una lavorazione scadente, tuttavia non è stato ancora valutato se a lungo termine questo tipo di cemento sia idoneo per la formulazione di malte nei lavori in muratura negli edifici di nuova costruzione, certamente il lavoro finito è inevitabilmente di qualità inferiore rispetto a quello che si otterrebbe con una calce. Per economia nella produzione, si tende a fabbricare il moderno Portland con una vasta gamma di materie prime: ciò fa entrare in gioco reazioni chimiche complesse e a volte indesiderate. Per rallentare la velocità della presa naturale (che altrimenti potrebbe avvenire in pochi secondi) al cemento viene aggiunto gesso, con il risultato di ottenere un materiale non solo inutilmente duro, fragile ed impermeabile, ma anche carico di una notevole quantità di solfati solubili, che causano, nel migliore dei casi, efflorescenza superficiale quando sono mobilitati dall'acqua e, nel caso peggiore, un severo degrado dei materiali (mattoni e pietre) adiacenti, ricristalizzandosi nei loro pori. Il problema dei sali solubili è sicura causa di insuccesso laddove il cemento Portland è usato nel restauro di murature storiche in laterizio. La maggior parte dei mattoni fabbricati oggi hanno resistenze meccaniche alte e, in parte, possono reggere i danni provenienti dai sali dovuti al cemento, mentre i mattoni antichi cotti a temperature più basse, mal sopportano l'azione dei sali solubili.

L'idraulicità di una calce può essere indotta e/o aumentata anche attraverso l'impiego di pozzolane. Le pozzolane sono formate da silicati reattivi che aumentano l'idraulicità di una miscela legandosi con la calce libera durante il processo di indurimento per formare la belite (nel caso si usi polvere di mattoni macinata e terre vulcaniche naturali

come quelle di Pozzuoli e il trass della Germania) e a volte anche l'alite (quando come pozzolane sono impiegate scorie d'altoforno granulose, cenere di carburante polverizzata, e materiali da alte temperature). Pertanto tutti i materiali contenenti una proporzione di calce libera cui è stata aggiunta pozzolana si possono spostare sulla destra del diagramma.

Il diagramma riporta anche la suddivisione delle calci fatta da Vicat ("debolmente idrauliche", "moderatamente idrauliche" e "eminente-mente idrauliche") nel 1820, che si è rivelata pratica e appropriata alle finalità di questi materiali. Questa classificazione è stata sostituita, a livello europeo, dalla già citata norma EN 459-1 del 2001, che classifica la calce naturale idraulica in NHL 2, 3,5 e 5.

Va osservato, tuttavia, che queste nuove suddivisioni non sono equivalenti a quelle proposte da Vicat. La classe moderna più debole (NHL2) è più vicina alla classe "moderatamente idraulica" di Vicat, mentre la NHL 3.5 si accosta maggiormente alla classe "eminente-mente idraulica". Le calci NHL 5 possono raggiungere facilmente la resistenza di quelli che Vicat indicava come "cementi naturali".

Come si può vedere dal diagramma, esiste nella classificazione della EN 459-1 uno spazio vuoto, critico, tra calci aeree e la NHL 2, dove prima era collocata la classe "debolmente idraulica" di Vicat. Ciò rappresenta un problema notevole, in Inghilterra per esempio, poiché molte delle calci tenute in gran considerazione e ricercate nel passato sono state classificate secondo Vicat come "debolmente idrauliche". La principale tra queste è forse la calce Dorking, proveniente dal calcare grigio del Surrey con cui è stata edificata gran parte della città di Londra, dal British Museum ai West India Docks, ma che è stata trasportata anche in zone molto più distanti.

Queste calci definite nel Regno Unito anche "calci magre" (al contrario di quelle "grasse") costituiscono una categoria particolarmente interessante per le caratteristiche di lavorazione.

Mentre le calci idrauliche moderne sono prodotte in polvere (attraverso un processo di parziale idratazione), talvolta persino macinate come avviene per il cemento, le calci debolmente idrauliche erano tradizionalmente spente sul posto e usate subito, ed erano caratterizzate da un'ottima lavorabilità e una presa lenta, e per questo insieme di proprietà, molto apprezzate.

A Londra era normale spegnere le calci di venerdì per utilizzarle la settimana successiva.

Dispiace che la EN 459-1 non prevede questa classe di prodotti, non perché le calce suddette siano inutilizzabili, ma solo perché il test adottato per valutarne la resistenza alla compressione (frantumazione di un provino standard) deriva dai metodi per testare il cemento, e questi metodi si sono rivelati inaffidabili per una forza di pressione inferiore a 2 N/mm^2 .

Negli ultimi anni si è diffusa l'abitudine di indicare le calce idrauliche NHL 3.5 come la soluzione migliore per ogni situazione. Questo fatto è spesso sostenuto persino da organi ufficiali, di solito senza aver adeguatamente considerato le condizioni dell'edificio su cui si andrà ad intervenire. Le NHL 3.5, offrono il vantaggio pratico di fornire un materiale di facile uso per gli inesperti, dalla presa iniziale piuttosto rapida. Tuttavia, prima del 1870 circa, calce così resistenti erano piuttosto rare, e in ogni caso sarebbero state utilizzate in opere di ingegneria civile come ponti, tunnel, bacini portuali, canali, ecc. piuttosto che in costruzioni in muratura e per intonacare gli edifici. Questo errore, frequente, si combina con un altro problema determinato dalla EN 459-1: la misura della resistenza alla compressione delle malte viene misurata dopo soli 28 giorni. Ciò è legato alla chimica del cemento, dal momento che l'idratazione dell'alite è sostanzialmente completa dopo questo periodo. La belite, tuttavia, continuerà ad idratarsi (per altri 90 o più giorni), così che tutte le classi NHL di calce idraulica tendono a produrre malte finite molto più resistenti (e meno permeabili o flessibili) di quanto sia generalmente riconosciuto. Come conseguenza osserviamo che, nonostante il diffuso revival della calce, negli edifici storici si stanno ancora impiegando materiali con caratteristiche di resistenza meccanica notevolmente maggiore rispetto a quelli originari, e le conseguenze di questo atteggiamento approssimativo sono ancora tutte da valutare.

In mancanza di calce debolmente idrauliche sul mercato, è possibile ottenere risultati simili aggiungendo alla NHL della calce aerea, anche se questo metodo è stato criticato dalla moratoria richiesta dall'English Heritage sull'uso di "malte bastarde" di qualche anno fa. E' fondamentale in questo caso sapere che parte di calce idraulica aggiunta si comporterà di fatto da inerte; pertanto una miscela calce aerea + NHL 3.5 darà risultati simili a quelli che si otterrebbero con una miscela calce + NHL 2. In entrambi i casi, comunque, possono sorgere dei problemi a causa di altre variabili, pertanto si raccomanda forte-

mente di fare delle prove specifiche. E' invece auspicabile che ricompaia presto sul mercato calce debolmente idraulica, di buona qualità.

Come per le calci, esiste da tempo un'ampia gamma di differenti tipi di cemento caratterizzati da proporzioni variabili di alite, belite e altre componenti. Anche in questo caso, troviamo un altro ampio gap nello spettro delle calci e dei cementi disponibili, oggi non esiste un materiale tra la NHL 5 e i moderni cementi portland, che si rivelerebbe particolarmente importante per la conservazione degli edifici del tardo diciannovesimo secolo e prima metà del ventesimo, compresi quelli del primo movimento Modernista. In molti di questi edifici, il cemento fu usato come componente essenziale della costruzione e delle finiture, ma il materiale disponibile allora era molto diverso da quello che si trova in commercio oggi.

Esistono pochi materiali equivalenti, si potrebbe usare una NHL 5, forse con l'aggiunta di pozzolana, per avvicinarsi alla resistenza alla compressione dei cementi ante prima guerra mondiale, anche se non è facile ottenere proprietà simili all'originale, compreso l'aspetto e il comportamento a lungo termine. Potrebbero essere impiegate le calci da costruzione, che sono generalmente delle miscele ibride di cemento portland e di calce idraulica o idrata (di solito con l'aggiunta di altri additivi). L'uso di questi materiali oltre ad essere una tacita ammissione della relativa non idoneità del cemento portland per le murature, in mattoni o pietra, non ci dà garanzie che una specifica miscela commerciale sia appropriata per un particolare edificio storico e, in ogni caso, vi è poca varietà disponibile.

Un recente programma internazionale di ricerca finanziato dalla Comunità Europea, rappresentato nel Regno Unito dall'Università di Bradford, studia il "Roman Cement", prodotto largamente utilizzato nel diciannovesimo secolo, particolarmente in Gran Bretagna a partire da noduli di septaria che ricorrono nell'argilla londinese. Questo cemento naturale ha un aspetto distintivo molto marcato, dal colore rossastro, tendente al bruno, notoriamente difficile da riprodurre. Molto interessante è il tentativo previsto nel programma di riprendere la produzione di questo materiale. I "Roman Cement" erano caduti in disuso, infatti, quando si è cominciato ad utilizzare i cementi Portland dopo il 1870. Altri tipi di cemento naturale sono rimasti sul mercato britannico, soprattutto per esigenze dell'industria dell'acqua potabile per il basso contenuto di sostanze chimiche solubili e per la rapida presa. La maggior parte di questi sono malte premiscelate studiate specifica-

tamente per la riparazione di strutture per il contenimento dell'acqua e sono poco usate nel restauro. Ciò non esclude, comunque, la possibilità che si possano sviluppare in futuro prodotti formulati in maniera appropriata.

In conclusione: contrapporre e chiedersi se la calce sia meglio del cemento, spesso, ci fa dimenticare la gran varietà di leganti utilizzabili nella conservazione degli edifici.

Sarebbe meglio chiedersi: “quale calce o quale cemento?” I materiali usati nel passato, nelle varie epoche, possono trovare nei prodotti attuali idonei equivalenti, anche se permangono dei vuoti da riempire nella gamma complessiva. Questa disponibilità relativamente ampia di materiali pone gli addetti alla conservazione e al restauro degli edifici in una posizione di forza mai raggiunta prima, nonostante sia sempre necessario conoscere a fondo ciascuno di questi materiali per raggiungere risultati appropriati.

Anche se rimane molto lavoro da fare, c'è la speranza che in un futuro non lontano si possa avere a disposizione una gamma completa di calci e cementi, in modo da poter sempre scegliere e utilizzare il prodotto più appropriato alla conservazione e alla costruzione di un determinato edificio.

L'articolo è stato pubblicato la prima volta da Ian Brocklebank - Presidente del Building Limes Forum, England in “Context”, Journal of the Institute of Historic Building Conservation, nel 2006. Dopo la pubblicazione di questo articolo, e in risposta alla proposta avanzata dai rappresentanti britannici, il comitato Euronorm ha accettato in linea di principio di sottoporre a una revisione la EN 459, per introdurre una classe più debole di calce naturale idraulica, provvisoriamente designata NHL 1. Al momento almeno un fabbricante Inglese avrebbe deciso di iniziare la produzione di un prodotto simile.

LA NORMATIVA

Fino al 2002, la produzione della calce sul nostro territorio è stata regolata da una normativa nazionale, emanata attraverso alcuni decreti legge.

Successivamente, con l'avvento delle regole comunitarie anche per le calce è stata recepita una nuova normativa europea, che ha reso, tra l'altro, obbligatoria la marcatura CE per la calce da costruzione.

Le calce prive di tale dichiarazione di conformità non possono essere commercializzate e quelle in circolazione devono essere ritirate dal mercato.



7.1 UNI EN 459-1:2002 – Calci da costruzione

Nel 2001, la Commissione dell'Unione Europea ha pubblicato una serie di norme in materia di "Calci da costruzione", elaborate dal CEN/TC 51. Queste norme sono state recepite in ambito nazionale, attraverso l'UNI, e sono divise in tre parti.

UNI EN 459-1:2002 Calci da costruzione - Definizioni, specifiche e criteri di conformità

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 459-1 (edizione ottobre 2001) e tiene conto dell'errata corrige di luglio 2002 (AC:2002). Fornisce una definizione generale dei diversi tipi di calci da costruzione e della loro classificazione. Fornisce, inoltre, i requisiti relativi alle loro proprietà chimiche e fisiche che dipendono dal tipo di calce da costruzione e specifica i criteri di conformità.

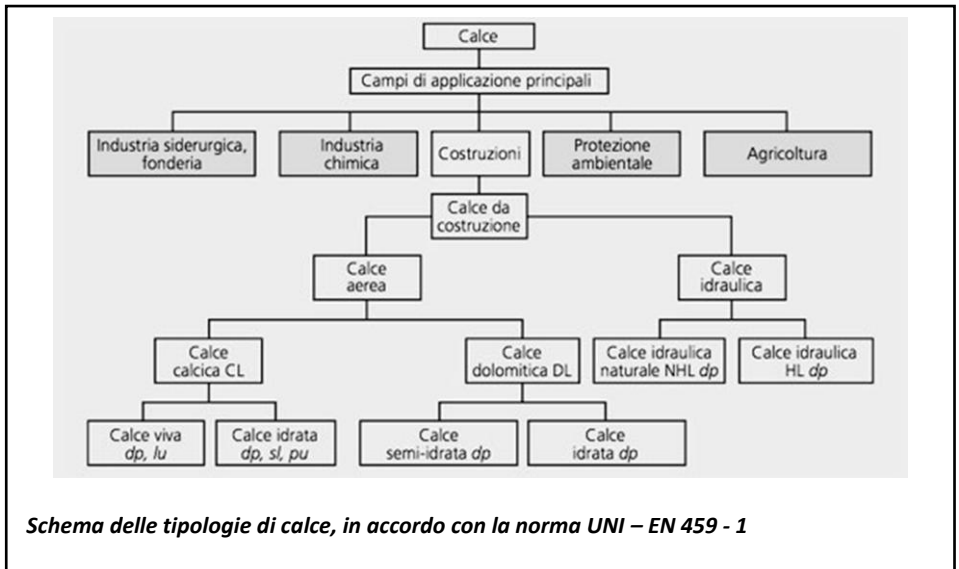
UNI EN 459-2:2002 Calci da costruzione - Metodi di prova

La norma descrive i metodi di prova per tutte le calci da costruzione trattate nella UNI EN 459- 1:2001. La norma, descrive i metodi di prova di riferimento e, in alcuni casi, i metodi di prova alternativi.

UNI EN 459-3:2002 Calci da costruzione - Valutazione della conformità

La norma specifica lo schema per la valutazione della conformità delle calci da costruzione rispetto alla corrispondente norma di prodotto UNI EN 459-1, inclusa la dichiarazione di conformità da parte del produttore. La norma fornisce le regole tecniche per il controllo produzione di fabbrica da parte del produttore, incluse le prove di auto-controllo sui campioni. Le norme appena citate si applicano alle calci da costruzione utilizzate come legante per la preparazione della malta in muratura, rivestimenti interni ed esterni, così come la fabbricazione

di altri prodotti per l'edilizia. In caso di applicazioni speciali (ad esempio, ingegneria civile) sono necessari requisiti aggiuntivi.



Schema delle tipologie di calce, in accordo con la norma UNI – EN 459 - 1

7.2 Decreti Legge e Decreti Ministeriali

Indipendentemente dalla normativa europea, per le calce da costruzione, in Italia sono in vigore le seguenti leggi:

- R.D. del 16 novembre 1939, n. 2231: Norme per l'accettazione delle calce.
- Legge 26 maggio 1965, n. 595: Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici.
- Decreto Ministeriale 31 agosto 1972: Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomeranti cementizi e delle calce idrauliche.

RD n. 2231 del 16 novembre 1939

L'impiego della calce aerea è regolato dal Regio Decreto n. 2231 del 16 novembre 1939 (Gazz. Uff. n. 92 del 18 aprile 1940) che considera i seguenti tipi di calce:

- a) calce grassa in zolle, cioè calce viva in pezzi, con contenuto di ossidi di calcio e magnesio non inferiore al 94% e resa in grassello non inferiore a 2,5;
- b) calce magra in zolle o calce viva contenente meno del 94% di ossidi di calcio e magnesio e resa in grassello non inferiore a 1,5;
- c) calce idrata in polvere, ottenuta dallo spegnimento dei tipi suddetti di calce viva che si distingue sua volta in:
 - i. fiore di calce, a contenuto minimo di idrossidi calcio e magnesio > 91%;

- ii. calce idrata da costruzione, a contenuto minimo di idrossidi di Ca e Mg > 82%.

GLOSSARIO

GLOSSARIO DEI TERMINI RIFERITI ALLA CALCE DA COSTRUZIONE E AL SUO IMPIEGO IN ARCHITETTURA E NEL RESTAURO

Accelerante materiale in grado di ridurre i tempi di presa e/o indurimento di un legante.

Acqua di calce soluzione limpida, satura (o soprasatura) di idrossido di calcio.

Additivo prodotto aggiunto in piccole quantità ai componenti essenziali di un impasto (legante, aggregato e acqua) allo scopo di modificare o ottenere talune proprietà allo stato fresco e/o allo stato indurito.

Aerante materiale in grado di introdurre aria nelle malte in fase di formulazione. La grandezza e la distribuzione delle bolle d'aria all'interno dell'impasto influenza talune proprietà delle malte indurite, ad esempio la resistenza ai cicli di gelo/disgelo.

Aereo carattere di un legante che fa presa all'aria, ovvero, nel caso di una calce, per reazione con l'anidride carbonica presente nell'aria.

Aggiunta materiale finemente suddiviso o fibroso usato nelle malte allo scopo di migliorare determinate proprietà fisicomeccaniche.

Affresco (a fresco) tecnica che consiste nell'applicazione di pigmenti dispersi in acqua su un intonaco fresco (non carbonatato).

Aggregato materiale lapideo granulare sciolto (sabbia, ghiaia, pietrisco) utilizzato in edilizia come ossatura portante delle malte, calcestruzzi ecc. Nella fabbricazione delle malte l'aggregato consente di aumentare la resistenza meccanica del legante, impedire la formazione di crepe da ritiro e ridurre il costo finale del prodotto.

Anidride carbonica biossido di Carbonio (CO₂), gas di natura debolmente acida presente nell'aria in quantità di 350-400 ppm in volume.

Arriccio uno dei tre strati costituenti la parte più esterna del rivestimento superficiale delle murature. Ha la funzione di assorbire gli assestamenti del muro durante l'essiccazione della malta e di creare una superficie di preparazione sufficientemente regolare per stendere gli strati successivi.

Aragonite forma mineralogica rombica del carbonato di calcio (CaCO_3), meno frequente della calcite.

Bagnolo piano di legno leggermente inclinato e dotato di sponde dove la calce viva, in zolle, viene bagnata per essere idratata.

Basico si definisce basico un prodotto avente $\text{pH} > 7$.

Bianco di calce carbonato di calcio, utilizzato come pigmento bianco.

Bottacciolo difetto dell'intonaco causato da un granulo di calce o di magnesia non spento nella malta: con il tempo il granulo finisce di idratarsi e si rigonfia determinando la formazione di un piccolo cratere.

Buca della calce o fossa vasca scavata nel terreno, rivestita o meno in legno, dove viene conservato il grassello di calce, durante l'invecchiamento e prima di essere impiegato. Nei sistemi di spegnimento più evoluti è in collegamento con il bagnolo, dove avviene l'estinzione della calce viva.

Calcare roccia sedimentaria consistente nella maggior parte di carbonato di calcio (CaCO_3) e/o carbonato di calcio e magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dolomite).

Calcare dolomitico calcare contenente dal 75 al 90% di dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Calcare magnesiaco calcare contenente dal 10 al 74% di dolomite (ossia dal 5 al 35% di carbonato di magnesio).

Calce secondo la norma UNI EN 459-1 "Termine generale che include forme fisiche e chimiche di differenti varietà in cui si può presentare l'ossido e l'idrossido di calcio e di magnesio".

Calce aerea legante a base di idrossido di calcio ed eventualmente di magnesio (calce spenta) che indurisce lentamente all'aria reagendo con l'anidride carbonica atmosferica. Non indurisce sott'acqua perché non possiede proprietà idrauliche.

Calce calcica (CL) calci costituite prevalentemente da ossido e idrossido di calcio, senza aggiunta di materiali idraulici o pozzolanici.

Calce dolomitica (DL) calci costituite prevalentemente da ossido di calcio e magnesio e idrossido di calcio e magnesio, senza aggiunta di materiali idraulici o pozzolanici.

Calce grassa calce viva con resa in grassello di $2,5 \text{ kg/dm}^3$.

Calce idrata (S) prodotto in polvere ottenuto dallo spegnimento della calce viva il cui componente principale è l'idrossido di calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o una miscelanza di idrossido di calcio e idrossido magnesio. La quantità d'acqua di spegnimento copre appena il fabbisogno

della reazione chimica per cui il prodotto presenta un tenore di umidità irrilevante.

Calce idrata fiore calce idrata ottenuta da una calce grassa.

Calce idraulica calce da costruzione a indurimento prevalentemente idraulico. La sua idraulicità è data dalla presenza di idrauliti nei calcari usati come materia prima (calce idraulica naturale) o dall'aggiunta di sostanze pozzolaniche (calce idraulica artificiale).

Calce magra calce viva con resa in grassetto $>1,5 \text{ kg/dm}^3$ e $<2,5 \text{ kg/dm}^3$.

Calce spenta designazione per calce idrata.

Calcestruzzo impasto ottenuto con sabbia, ghiaia o pietrisco e legante, il termine deriva dal latino *calcis structio* = struttura di calce.

Calce viva (Q) materiale inorganico a base di ossidi di calcio (CaO) e/o di magnesio (MgO) ottenuto per cottura ad alta temperatura di rocce calcaree.

Calcina termine arcaico con cui veniva, e a volte tuttora viene indicata, la calce spenta e anche la malta confezionata con essa.

Calcinaio vasca o fossa nella quale si spegne la calce viva per trasformarla in grassetto.

Calcinarolo vedi bottaccioli; il termine è stato impiego altresì per indicare la persona che produceva la calce ovvero per il proprietario della fornace.

Calcinazione trattamento termico a una temperatura opportunamente elevata (750-1100°C) per la trasformazione del calcare in calce viva.

Calcite in forma mineralogica trigonale del carbonato di calcio (CaCO₃) componente principale del calcare.

Calore di idratazione energia sviluppata dalla reazione di idratazione della calce.

Carbonatazione reazione chimica che ha luogo quando la calce spenta si combina con l'anidride carbonica presente nell'atmosfera per formare carbonato di calcio (CaCO₃) ed eventualmente di magnesio (MgCO₃).

Carbonato di calcio sale inorganico di formula chimica CaCO₃.

Cavillature fessure di ampiezza inferiore ad 1 mm, disposte a ragnatela, in genere superficiali e determinate dal ritiro della malta da intonaco.

Ciclo della calce è il processo ciclico che, a partire dal calcare porta successivamente, attraverso la sua cottura ad ossido (calce viva), all'idratazione ad idrossido (calce spenta) e alla sua carbonatazione, alla riformazione del carbonato di partenza.

Cocciopesto rammenti e polvere di mattone, terracotta, tegole ecc. utilizzati nella fabbricazione delle malte, per la loro azione pozzolanica e a volte anche per conferire un colore caratteristico.

Coefficiente di resistenza al passaggio di vapore esprime di quanto la resistenza al passaggio di vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e temperatura, tenuto conto, per l'aria di un valore $\mu=1$. I materiali con valori e più bassi, a parità di spessori applicati, sono quelli con migliore traspirabilità.

Conducibilità termica misura del flusso di calore che attraverso un provino standardizzato di materiale.

Crema di calce dispersione densa di idrossido di calcio con concentrazione di solido indicativa di circa 270-350g di Ca(OH)_2 per litro.

Crettatura problema degli intonaci che si fessurano a mo' di tela di ragno. E' generalmente legata a un eccesso di legante e/o di acqua d'impasto.

Dolomite (dolomia) roccia carbonatica a base di carbonato doppio di calce e magnesio ($\text{CaMg(CO}_3)_2$) in cristalli trigonali.

Dolomitico indica la presenza del 75-90% di dolomite (ovvero di 35-45% di carbonato di magnesio) nel calcare da cui il materiale deriva.

Durabilità capacità di un materiale di resistere nel tempo all'azione degradativi, all'attacco chimico-fisico da parte degli agenti esterni.

Durezza resistenza che un prodotto oppone a diverse sollecitazioni meccaniche, quali, abrasione, scalfittura e graffiatura. La durezza si misura secondo la scala Mohs.

Efflorescenza formazione di colore generalmente bianco proveniente da alcuni sali solubili che cristallizzano sulla superficie di un manufatto.

Emulsione sistema eterogeneo costituito da particelle liquide (fase dispersa) disperse in modo uniforme in un liquido con esse non miscibili (fase disperdente).

Estinzione operazione che consiste nell'idratazione della calce viva per ottenere calce spenta. Secondo la quantità di acqua messa a contatto con la calce si ottiene calce idrata in pasta (grassello) o in polvere (calci idrata).

Fenofaleina indicatore acido-base. La soluzione che la contiene è incolore se è acida e rosso-violetta. E' spesso utilizzata per verificare lo stato di carbonatazione delle malte di calce.

Fissativo sostanza (spesso organica) che contribuisce a fissare e a legare i pigmenti in una pittura a calce .

Granulometria misura che permette di ottenere la ripartizione delle differenti dimensioni dei granuli che costituiscono un aggregato.

Idrato di calce vedi idrossido di calcio.

Idraulico riferito a un legante indica che il processo di indurimento avviene in conseguenza a reazioni e a processi di idratazione dei composti (silicati e alluminati di calcio) idraulici, a formare silicati e alluminati idrati stabili all'acqua aventi proprietà cementanti.

Idrossido di calcio composto chimico di formula $\text{Ca}(\text{OH})_2$, poco solubile in acqua con reazione fortemente basica ($\text{pH} \gg 12,5$); nome del minerale è portlandite.

Igroscoptico caratteristica di vari materiali, consistente nella capacità di assorbire umidità dall'aria.

Indurimento trasformazione fisico-chimica conseguente alla carbonatazione (leganti aerei calcifici) o all'idratazione (leganti aerei solfatici e leganti idraulici) che conferisce consistenza litoide e resistenza meccanica ai conglomerati e alle paste.

Inerte termine improprio (in disuso) per designare l'aggregato.

Lavorabilità capacità di certi impasti di essere miscelati e omogeneizzati, di mantenere una sufficiente coesione per essere manipolati, trasportati e messi in opera con facilità.

Latte di calce sospensione diluita dell'idrato di calcio in acqua, si ottiene con lo spegnimento della calce viva con notevole eccesso d'acqua o per miscelazione della calce idrata in polvere con acqua o per diluizione del grassello di calce per ottenere una dispersione dalla consistenza e dall'aspetto del latte vaccino.

Legante materiale capace di assicurare legami stabili tra i diversi componenti, altrimenti sciolti.

Marmorino intonaco di finitura tradizionale a base di calce spenta e polveri di pietra. Il suo nome deriva dalla particolarità di imitare il marmo, sia nella composizione sia nell'effetto estetico finale.

Magnesia ossido di magnesio (MgO) vedi anche calce viva.

Malta miscela omogenea coesiva ottenuta impastando i tre componenti fondamentali, legante, aggregato e acqua, con l'aggiunta eventuale d'opportune quantità di additivi e/o aggiunte.

Malte grasse sono malte che si ottengono quando la quantità di leganti è superiore a quella necessaria a riempire i vuoti degli inerti, nel caso contrario si determinano malte magre.

Metacaolino materiale pozzolanico, composto di allumino-silicati reattivi, ottenuto per cottura d'argille caoliniche.

Ossido di calcio composto chimico di formula CaO , vedi calce viva.

Pasta miscela binaria densa di un solido insolubile fine e acqua. In edilizia, il termine si riferisce a tutte le miscele di acqua e legante.

Pigmento sostanza in polvere, naturale o artificiale, non solubile in acqua o in olio, che conferisce colore ad un altro materiale. Le sostanze solubili nel medium pittorico si definiscono coloranti.

Permeabilità proprietà di un materiale di lasciarsi attraversare da un liquido. Per l'acqua la permeabilità di un prodotto è tanto più debole quanto più piccoli sono i pori del materiale e quanto più lungo è il percorso che l'acqua deve fare.

Permeabilità al vapore d'acqua è la capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dal vapore acqueo. E' espressa dalla relazione $S_d = \mu \cdot s$; dove μ è il coefficiente di resistenza al passaggio di vapore, ed "s" è lo spessore del prodotto in esame, espresso in metri. Più il valore S_d è piccolo, tanto più il prodotto relativo è permeabile al vapore d'acqua.

pH esprime la concentrazione degli ioni idrogeno in una soluzione; un pH uguale a 7 indica un ambiente neutro, se compreso tra 8-13, alcalino, mentre se il pH è tra 0-6 corrisponde ad un ambiente acido.

Pittura a calce pittura da interno o esterno, che si ottiene disperdendo la calce idrata, preferibilmente grassello, in una grande quantità d'acqua. Può incorporare pigmenti e ossidi per raggiungere il colore desiderato. Ha capacità disinfettanti e sterilizzanti.

Plasticità proprietà di una malta che permette deformazioni continue e permanenti in ogni direzione. Un materiale poco plastico è generalmente definito povero e duro da lavorare, un materiale plastico è definito ricco e facilmente lavorabile.

Pozzolana roccia vulcanica, poco coerente, a grana fine, originata da lapilli e ceneri vulcaniche debolmente cementate. Nella pratica edilizia, la pozzolana identifica tutti quei materiali, che reagendo con l'idrossido di calcio, sono in grado di sviluppare processi di presa e di indurimento di natura idraulica.

Presa processo fisico e/o chimico per cui un impasto (pasta o malta) perde gradualmente le sue proprietà plastiche di messa in opera e comincia a consolidarsi senza tuttavia sviluppare vere e proprie resistenze meccaniche misurabili.

Reattività (della calce viva) esprime la capacità della calce viva di reagire con acqua dando luogo a calce spenta, durante il processo di idratazione/spugnamento.

Resa (pitture) Riferita a un prodotto verniciante, superficie in mq ricopribile con 1 Kg o 1 litro di prodotto applicato ad un determinato spessore e/o con una determinata tecnica.

Resa (in grassello) volume di pasta che si ottiene quando un dato peso di calce viva viene spento completamente in acqua. Sono dette grasse le calce che hanno resa in grassello maggiore di 2,5 l/kg, se invece il valore è compreso tra 1,5 e 2,5 la calce si dice magra.

Resistenza termica indica la resistenza che un materiale avente un determinato spessore oppone al passaggio di energia termica in determinate condizioni e si esprime come l'inverso della conduttività termica: I materiali con elevato potere isolante, quindi coibenti, hanno elevati valori di resistenza termica, mentre quelli con caratteristiche di buona conducibilità hanno valori più bassi.

Rinzaffo è primo strato del rivestimento superficiale, composto dall'impasto di calce e cariche di granulometria grossa; ha la funzione di creare uno strato regolare che assorbe le irregolarità della muratura e prepara la stesura dello strato successivo o arriccio.

Ritenzione d'acqua capacità di una pasta o di una malta di trattenere l'acqua d'impasto, quando applicata su un supporto poroso, assorbente, in modo da mantenere uno stato di consistenza plastica e di facile lavorabilità.

Ritiro riduzione dimensionale che si determina nelle malte, a causa dei processi fisico-chimici determinati dall'eliminazione dell'acqua e dai processi di presa e di indurimento del legante.

Roman cement cemento naturale, a presa rapida, brevettato da James Parker nel 1796.

Trass o tras, tufo vulcanico impiegato come pozzolana presente in nella regione del Eifel (Germania meridionale).

Tixotropia proprietà per cui un materiale dallo stato semisolido (stato di "gel") passa allo stato liquido (stato di "sol"), per effetto di semplice agitazione, o sotto l'azione di vibrazioni, per tornare a gelificare quando cessa l'azione perturbativa.

Velatura effetto di coloritura, non totalmente coprente e non a tinta unita, ottenuta con prodotti colorati semitrasparenti, in modo da fare apparire parte del sottofondo; effetto simile a quello che si osserva attraverso un velo, da cui il nome di velatura.

Ventilata (calce) Calce spenta, in polvere, caratterizzata da una granulometria particolarmente fine (<0,09 mm) cui corrisponde un rapporto massa/volume (peso specifico apparente) di circa 500Kg/m³, ot-

tenuta in fase di spegnimento attraverso l'ausilio di un separatore a vento.

Sagramatura tecnica di finitura delle cortine murarie, consiste nello stendere un intonachino pigmentato costituito da un impasto di cociopesto, grassello di calce e acqua, poi rifinito a mano con un mattone mantenendo la superficie costantemente bagnata perché l'impasto e la polvere che si ottiene fregando i mattoni, si amalgamino formando sopra al paramento una velatura, che lascia trasparire la tessitura dei mattoni.

Saturazione (di colore) dosaggio limite di un pigmento aggiunto al latte di calce, in una pittura a calce, oltre al quale non si intensifica più il colore finale della tinta.

Spegnimento vedi estinzione.

Stucco indica, comunemente, un particolare tipo di decorazione parietale in rilievo, realizzata in materiale plastico bianco o eventualmente colorato con pigmenti; intonaco di finitura costituito da calce aerea o grassello e polvere fine di marmo.

Suzione migrazione di acqua capillare (acqua libera) dalla malta verso il supporto (muratura). Se non controllata, determina perdita di lavorabilità dell'impasto, difficoltà nella carbonatazione, ritiro e decremento delle prestazioni e durabilità della malta allo stato indurito.

Tadelakt tecnica di intonacatura di origine marocchina. Si ottiene attraverso l'utilizzo di una speciale miscela ottenuta con calce, polvere di marmo e pigmenti che viene applicata come intonaco e successivamente lisciata e lucidata con strumenti in agata.

Viscosità resistenza che le particelle di un corpo incontrano nello scorrere le une rispetto alle altre; in particolare., il minore o maggiore grado di scorrevolezza di un fluido.

Vuoti spazio lasciato libero tra le particelle che costituiscono l'aggregato di una malta e/o di un conglomerato che deve essere totalmente riempito dalla pasta legante per ottenere impasti lavorabili e durevoli una volta compiuti i processi di indurimento e presa.

POSTFAZIONE

Con l'avvento del terzo millennio si apre una nuova era nel panorama immobiliare internazionale.

Le frontiere si abbattano, le distanze diminuiscono, la New Economy cambia il nostro modo di vivere, i mercati esteri diventano più accessibili e così anche quello nazionale. Si avverte un mutamento profondo anche nel modo di "fare impresa": oggi numerose aziende e società operano esclusivamente dal punto di vista dirigenziale, senza minimamente disporre di risorse interne, quali personale ed attrezzature, assoggettandosi in questo modo completamente agli sbalzi e agli umori dell'offerta ed offrendo al cliente solo ciò che quotidianamente ci si riesce ad accaparrare sul mercato.

Il nostro modo d'intendere l'impresa ha da sempre caratterizzato le scelte della nostra società: essa è infatti considerata come un valore piuttosto che come uno strumento, un contesto nel quale condividere uno spirito ed un obiettivo generale.

Lo spirito è quello, sempre e comunque costruttivo, di chi vuole affrontare le grandi sfide; l'obiettivo generale è quello d'accrescere la consistenza di tale valore anche oltre i soliti indicatori economici.

In un contesto caratterizzato dall'affermazione di un modello d'impresa sempre più virtuale, la volontà della AhRCOS s.r.l. è sempre stata quella di sviluppare l'impresa reale. E' una posizione quasi solitaria, che rifugge dall'adottare l'outsourcing quale unica soluzione possibile alle problematiche imposte da un mercato iperconcorrenziale.

Al contrario, l'azienda investe nello sviluppo di capacità e conoscenze, organizzative e produttive, in quanto nel settore delle ristrutturazioni la passione, la dedizione, la volontà e l'aprogettualità rivestono un ruolo determinante.

Coerentemente con questo spirito e questi obiettivi, l'azienda ha da sempre investito in risorse umane e tecnologiche.

I fatti, fino ad oggi, ci hanno dato ragione di tali scelte: il valore delle risorse e la dinamicità dell'organizzazione hanno protetto l'impresa dalle mutevoli sorti del mercato che, al contrario, ci ha visto crescere in termini di struttura e fatturato.

L'impresa, infatti, dispone oggi di un patrimonio netto e di un'organizzazione che le consente d'affrontare commesse specialistiche di notevole entità su tutto il territorio nazionale ed estero.

L'Impresa AhRCOS s.r.l. ha come obiettivo professionale "la qualità" intesa come capacità di ideare, concepire, realizzare e conservare un progetto in modo innovativo, che nasce dalla scelta dei materiali, dalla coordinazione ed aggiornamento di personale specializzato, dallo studio di architetture, particolari di progetto, per arrivare alla realizzazione di opere in ingegneria civile ed ed architettonica sempre più complesse.

La qualità del prodotto e del servizio offerto alla Committenza è un preciso obiettivo imprenditoriale; anche per questo l'Impresa negli anni si è sempre maggiormente specializzata sul restauro e conservativo di beni immobili sottoposti a tutela.

In questo scenario in profonda evoluzione opera AhRCOS S.r.l.

Leggendo questo testo avrete a disposizione le ns. conoscenze sulla calce, ma se questo non bastasse siamo pronti a fornirVi la più ampia collaborazione e tutta la bibliografia a ns. corredo insieme ad un' invidiabile bagaglio tecnico - culturale e di esperienze e prove pratiche svolte nel corso degli anni e tutto il sapere nato dalla strettissima collaborazione con i laboratori dell'Università di Bologna, dell'Università Politecnica delle Marche, dell'Università di Ferrara, dell'Università di Firenze e di tantissima sperimentazione presso laboratori privati oltre al ns. laboratorio interno.

Presso gli uffici della sede di Bologna (BO) viene coordinato il lavoro nell'ambito del team e sono gestiti tutti i rapporti azienda-stakeholders.

Le unità tecniche di Bologna, di L'Aquila (AQ) e di Cento (FE), i cui organici sono costituiti da personale specializzato in Restauro Conservativo e Consolidamento Strutturale, curano la progettazione e la pianificazione degli interventi, per la quale l'azienda è attestata SOA e certificata ISO 9001.

E' prassi costante per gli operatori dell'area tecnica eseguire tutti gli approfondimenti analitici e diagnostici necessari all'elaborazione del quadro conoscitivo ed alla formulazione del progetto nei suoi vari livelli: lo studio preliminare dell'opera, che comprende la ricerca storica sulle fonti bibliografiche e d'archivio, il rilievo fotografico generale e particolareggiato, il rilievo dell'opera, dei materiali e del degrado, la verifica della coerenza, unitamente agli Enti preposti alla tutela, della metodologia e delle soluzioni operative.

Le attività vengono svolte in attento controllo combinato con i Direttori Tecnici, al fine di organizzare un percorso progettuale equilibrato ed impostato su congrue basi conoscitive.

A qualsiasi livello della gerarchia aziendale le risorse umane, frequentano periodicamente corsi di formazione ed aggiornamento professionale, anche nel rispetto della normativa cogente in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro e sui cantieri.

In quest'ottica sono coerentemente incrementati quei principi generali volti a migliorare costantemente, attraverso la crescita culturale degli operatori, lo sviluppo e l'efficienza dell'impresa nel suo complesso.

La società, pur essendo costituita al 100% da risorse interne risulta dinamica e con forte orientamento alla customer satisfaction, AhRCOS S.r.l. è in grado di offrire alla committenza Pubblica e privata un know-how di sicuro affidamento, un gruppo di lavoro competente ed aggiornato sulle nuove tecnologie ed una serie di misure di controllo permanente atte a garantire la qualità delle risposte progettuali e delle opere realizzate.

Nata dalle migliori tecnologie e professionalità del restauro innovativo e tecnologico unite alle nuove sperimentazioni, ma con la solidità, la tradizione, l'amore, la passione e l'esperienza del restauro conservativo di beni sottoposti a tutela AhRCOS S.r.l. si propone di divenire Leader nel segmento e si appresta a cogliere le nuove sfide del futuro.

Alessandro Battaglia

Amministratore - AhRCOS S.r.l

Azienda certificata per restauro di beni immobili sottoposti a tutela e Consolidamento sismico del patrimonio edilizio e storico monumentale

POSTFAZIONE

Il testo che avete tra le mani non ha un intento didattico, ma è nato dall'esigenza di mettere ordine e di razionalizzare la grande mole di dati che si sono andati ad immagazzinare nel tempo. Nel corso degli anni la AhRCOS S.r.l. ha eseguito innumerevoli opere di restauro e recupero di murature storiche venendo così a contatto con i materiali che le compongono.

Le esperienze acquisite nel tempo ci hanno portato a creare una sorta di database con i diversi tipi di malta, la loro provenienza, gli usi e i loro comportamenti. Le specificità caratteristiche sono fondamentali per un corretto utilizzo dei materiali; la conoscenza si pone alla base di qualsiasi intervento.

Per comprendere la primaria importanza che il "sapere" riveste, basti pensare ad alcuni interventi del passato e alla loro fallacità causata dall' "ignoranza". La maestosa cupola di Hagia Sophia rappresenta un modello di come sia stato affrontato ed in parte risolto il problema della resistenza sismica in un edificio di dimensioni così ragguardevoli. Gli architetti Isodoro Mileto e Antemio di Tralle non affrontarono esplicitamente il problema delle azioni sismiche, ma cercarono di assorbire le grandi spinte derivanti dal sistema di cupole ed archi. Il grandioso monumento riuscì a superare pressoché indenne i molteplici eventi sismici grazie alla deformabilità delle sue murature: i filari di mattoni, spessi 4-5 cm, sono disposti su letti di malta alti fino a 7 cm. La malta, classificata come pozzolanica, ha la caratteristica di contribuire all'assorbimento di energia durante gli eventi sismici grazie al grande spessore dei giunti. Interventi successivi per ovviare a cedimenti e lesioni fisiologiche e di piccola entità, come la costruzione di ulteriori contrafforti, portarono ad un eccessivo irrigidimento della struttura. Il risultato dell'irrigidimento fu un aumento delle lesioni ed una loro maggiore criticità. Questo esempio è solo uno tra gli innumerevoli che la Storia ci ricorda e deve essere considerato come un monito al "fare" solo dopo il "sapere". Bisogna aver un quadro preciso e il più possibile accurato della struttura e di tutte le sue parti costruttive, solo così l'intervento potrà essere mirato e con un esito soddisfacente.

Durante i miei studi la lettura e la comprensione di passati interventi mi hanno fatto riflettere profondamente sulla ricerca anche da parte di tecnici stimati e "navigati". Si pensi al Poleni e alle lunghe ricerche da lui effettuate, sulle prove eseguite e alle comparazioni con altri interventi prima di effettuare una diagnosi ed "operare" sulla Cupola di San Pietro a Roma. Da non dimenticare inoltre dell'interessante ed acceso dibattito intercorso con i Tre Matematici sul comportamento statico del monumento. Oppure al Rondelet ed alle sue Memorie sul Pantheon di Parigi.

Non a caso ho utilizzato termini come “diagnosi” e “operazione”, parole che si avvicinano di più alla medicina piuttosto che all’ingegneria. Una struttura antica si può paragonare ad un malato: per poter curare un anziano si deve avere un quadro clinico completo ed esauriente sulle sue condizioni, poiché ogni azione avventata potrebbe essere fatale. Alla stessa stregua un monumento storico, con tutte le sue complessità, deve essere studiato a fondo prima di poter intervenire. Solo seguendo questi canoni metodologici si può sperare di tramandare alle future generazioni la testimonianza delle passate civiltà.

Vassili Kafetsis

Ingegnere civile- AhRCOS S.r.l

Azienda certificata per restauro di beni immobili sottoposti a tutela e Consolidamento sismico del patrimonio edilizio e storico monumentale

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [I] Forum Italiano Calce, 2009: www.forumcalce.it.
- [II] Kimia, 2003: il Bessale.
- [III] AAVV, 1976: Cemento: storia, tecnologia, applicazioni. Ed. Fratelli Fabbri, Milano.
- [IV] Norman D., 1971: *A History of Building Materials*. Drake Publishers Ltd. New York.
- [V] Maurilio Grassi, 2005: Calchere, l'industria povera della Valle di Scalve. Tipolitografia Valgrigna (sito www.scalve.it).
- [VI] Lumia C., 2009: Produzione tradizionale della calce. Al Ballenberg. Con DVD. Nardini Editore, Firenze.
- [VII] Oates J. A. H., 1998: *Lime and Limestone: chemistry and technology, production and use*. Wiley-VCH, Weinheim (D).
- [VIII] Querincig Lanciato A., 2001: Val Canzoi fornaci da calce. DBS, Rasai di Sern del Grappa (BL).
- [IX] Schiele E., Berens L.W., 1976: *La Calce*. Edizioni Tecniche ET, Milano.
- [X] Jornet A., Romer A., Romer M., 2003: Confronto calce idrata polvere-grassello. Atti del 1° Convegno Nazionale dell'IIGC. Gruppo italiano dell'International Institute for Conservation, Lo stato dell'Arte. Torino, 5-7 giugno 2003.
- [XI] O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert, Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. ACEME08, 2nd International Conference, 1-3 October 2008, Rome, Italy.
- [XII] AAVV, 1998: *Guia práctica de la cal y el estuco*. Editorial de los Oficios, Leon (E).

- [XIII] Gibbson P., 1995: Preparation and Use of Lime Mortars . Historic Scotland Technical Advice Note 1. Historic Scotland, Edinburgh (UK).
- [XIV] Pecchioni E., Fratini F. Cantisani E., 2008 Le malte antiche e moderne tra tradizione ed innovazione. Patron Editore, Bologna.
- [XV] Colleparidi M., 2003: La lezione dei romani: durabilità e sostenibilità delle opere architettoniche e strutturali. Proceedings of III Convegno AIMAT "Restauro e Conservazione dei Beni Culturali: Materiali e Tecniche". Cassino, 3-4 Ottobre 2003.
- [XVI] AAVV, 1993: Calcestruzzi Antichi e Moderni: Storia, Cultura e Tecnologia. Atti del Congresso Bressanone 6-9 luglio 1993, Libreria Progetto Editore, Padova.
- [XVII] Fogliata M., Sartor M.L.,1995: L'Arte dello Stucco a Venezia. EdilStampa, Roma.
- [XVIII] Carria, F., 2004: La manutenzione delle facciate, tecnologie e metodi per il recupero. Tecniche Nuove, Milano.
- [XIX] AAVV, 1985: 'L'intonaco: storia, cultura e tecnologia'. Atti del convegno di studi, Bressanone 24-25 Giugno 1985, Padova.
- [XX] Broccolo A.,2000: 'Malte, intonaci e paste nelle costruzioni e nel recupero', Carocci Editore.
- [XXI] Feiffer C., 1997: 'La conservazione delle superfici intonacate - Il metodo e le tecniche', Skira, Milano.
- [XXII] AA.VV, 1984: Il colore nell'edilizia storica. Bollettino d'Arte " (num. spec.), Roma 1984.
- [XXIII] AAVV, 1998: 'Techniques et pratique de la chaux'. Ecole d'Avignon. Eyrolles Edition.

- [XXIV] Centauro G., Grandin C., Tintori L., 1996: La carbonatazione nella pittura murale. In " I Quaderni dell'Arte ", 13, Poggibonsi.
- [XXV] Giannini C., 2009: Materiali e procedimenti esecutivi della pittura murale, con la collaborazione di Deodato Tapete. Il Prato Editore, Saonara.
- [XXVI] Tapete D., 2009: Pittura murale su supporti non murali: embrici, tegole, terrecotte da Fra' Bartolomeo a Pietro Annigoni. 'Progetto Restauro', anno 14, numero 52, pp. 10-18 (file PDF >>)
- [XXVII] Arcolao C., 1998: Le ricette del restauro. Marsilio Editore, Venezia.
- [XXVIII] Torraca G., 1988: Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation. International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, Rome.
- [XXIX] Torraca, G., 1996: Lime technology in architectural conservation. Proc. of the Historic Scotland International Lime Conference, Lime News, The Building Limes Forum/ Historic Scotland, Vol. 4, N°. 1, pp 34-41.
- [XXX] AAVV, 1982: Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Building Symposium 3-6 nov. 1981. Iccrom, Rome.
- [XXXI] Botticelli G., 1992: Metodologia di restauro delle pitture murali. Edizioni Centro Di, Firenze.
- [XXXII] Adam J. P., 1989: L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche. Milano 1989, pp. 69-76.
- [XXXIII] Baragli S., 1998: L'uso della calce nei cantieri medievali (Italia centro-settentrionale): qualche considerazione sulla tipologia delle fonti. In «Archeologia dell'Architettura», III (1998), pp. 125-139.

- [XXXIV] Dix B., 1982: *The Manufacture of Lime and its Uses in the Western Roman Provinces*. «Oxford J A», 1 (3) (1982), pp. 332-337.
- [XXXV] Mannoni T., Giannicchedda E., 1996: *Archeologia della produzione*. Einaudi, Torino.
- [XXXVI] Petrella G., 2006: *La produzione della calce e modalità di impiego nel cantiere medievale. Primi esempi dal territorio aquilano*. In Francovich R.-Valenti M., “IV Convegno Nazionale della Società degli Archeologi Medievisti Italiani”, (San Galgano 26-30 settembre 2006), Firenze, pp. 409-414.
- [XXXVII] Petrella G. 2005a, *Forni da calce nel territorio aquilano*, in “Archeologia Postmedievale”, IX, pp. 206-207.
- [XXXVIII] Petrella G. 2006, *La produzione della calce e modalità di impiego nel cantiere medievale. Primi esempi dal territorio aquilano*, in Francovich R.-Valenti M. (a cura di), “IV Convegno Nazionale della Società degli Archeologi Medievisti Italiani”, (San Galgano 26-30 settembre 2006), Firenze, pp. 409-414.
- [XXXIX] Petrella G. 2008a, *La produzione della calce: stato degli studi e proposta di scheda di informatizzazione dati di un forno da calce*, in “Archeologia Postmedievale”, XI, pp. 151-172.
- [XL] Petrella G. 2008., *De calcariis faciendis. Una proposta metodologica allo scavo di una fornace da calce e al riconoscimento degli indicatori di produzione*, in “Archeologia dell’Architettura”, XIII, pp. 29-44 (file PDF >>).
- [XLI] Petrella G. 2009, *Produzioni e tecniche artigianali all’Aquila tra Medioevo ed Età Moderna. Dati archeologici e archivistici*, in Volpe G.-Favia P. (a cura di), “V Convegno Nazionale della Società degli Archeologi Medievisti Italiani”, (Foggia, 30 settembre-3 ottobre 2009), Firenze, pp. 660-664.
- [XLII] Petrella G. 2010, *Per una carta tematica della produzione della calce: un esempio dal territorio aquilano*” in *Calce: materiale antico, idee nuove*, II Convegno Nazionale del Forum

Italiano Calce, in “Arkos. Scienza e Restauro”, n° 22, gennaio-marzo 2010, pp. 22-29. (file PDF >>).

- [XLIII] Vecchiattini R., 1998: Unità produttive perfettamente organizzate: le calcinare di Sestri Ponente - Genova. 'Archeologia dell'Architettura', III, Firenze, pp. 141-152. (file PDF >>).
- [XLIV] Vecchiattini R., 2006: Archeologia industriale, cultura materiale e restauro. XIII Congress of International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage (file PDF >>).
- [XLV] Boato A., 2004 : Archeologia, archeometria e ingegneria dei materiali. Recuperare l'edilizia n.41, pag. 55 (file PDF >>).
- [XLVI] Tesi di Laurea - Ellena E., Mossetti M.: La calce nell'edilizia piemontese dal 1560: i luoghi di estrazione e di impiego. Tesi di Laurea, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino, A.A.1996.
- [XLVII] Tesi di Laurea - Gastaldo Brac E.: La calce nell'edilizia storica. Tesi di Laurea, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino, A.A 1998.
- [XLVIII] Tesi di Laurea - Pascolutti T.: Le fornaci da calce nell'Europa occidentale, tecnologia e produzione. Tesi di laurea, Università degli Studi di Trieste, Facoltà di Lettere e Filosofia, A.A. 1997-1998.
- [XLIX] Tesi di Laurea - Petrella G.: De calcariis faciendis. Produzione e uso della calce. Fonti archeologiche, archivistiche e documentarie. Tesi di Dottorato in Archeologia Medievale, Università degli Studi dell'Aquila, A.A. 2006/2007.
- [L] Atti di Convegni - Conferenze – Workshop : International Building Lime Symposium Orlando, FL March 9-11, 2005 (www.buildinglime.org).
- [LI] Atti di Convegni - Conferenze – Workshop : Calce: materiale antico, idee nuove, II Convegno Nazionale del Forum Italiano Calce, Genova 2 3 dicembre 2009 in “Arkos. Scienza e

Restauro”, n° 22, gennaio-marzo 2010, pp. 22-29. (file PDF >>).

- [LII] Rattazzi A., Polidoro C., La calce nel sistema LEEDTM – Un materiale antico dal futuro verde e sostenibile in “Recupero e Conservazione”, De Lettera Editore, 2010, n. 90, pp 46-53.
- [LIII] Ian Brocklebank - Presidente del Building Limes Forum, England, 2006: “Context”, Journal of the Institute of Historic Building Conservation.

AhRCOS® S.r.l.
Tel. 051 / 72 .57. 63
C.F. e P.iva 01907030389
Capitale sociale: € 50.000 i.v.
Iscr. Reg Imprese Ferrara n° 01907030389
info@restauroeconsolidamento.it · info@ahrcos.it

Sede Legale:

Via Statale, 88/1 - 44042 - CENTO (FE)

Sede Amministrativa e Uffici Tecnici:

Via Secci, 5 - 40132 - BOLOGNA (BO)

Laboratorio specialistico ricerca e sviluppo e Deposito:

Via Secci, 7 - 40132 - BOLOGNA (BO)

Sede operativa:

Piazza San Venceslao 776/4 - Václavské náměstí 776/4
110 00 - PRAHA 1 (CZECH REPUBLIC)

Sede operativa:

Via L. Da Vinci, s.c. - 67100 - L'AQUILA (AQ)

Deposito e centro raccolta materiali:

Via Argentina, s.c. - 44042 - CENTO (FE)

Deposito:

Preslova, 652/19
150 00 - PRAHA 5 (CZECH REPUBLIC)

Sede operativa e punto assistenza:

Křižovnická, 86/6 - 110 00 - PRAHA 1 (CZECH REPUBLIC)

Sede operativa:

Via Castelfidardo, 6 - 61121 - PESARO (PU)



Attestazione SOA: OG01 CL. IV-BIS · OG02 CL. IV-BIS – OS21 CL. III-BIS – OG05 CL. I – OS7 CL. I – OS8 CL. I

Certificazione di qualità ISO 9001:2008

Certificazione secondo Linee Guida Inail per il sistema della gestione della salute e della sicurezza sul lavoro (SGSL).

Certificazione ISO 14001 certificazione di Sistema di Gestione Ambientale - Impegno tutela per l'ambiente



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

Via Breccie Bianche - 60130 - Ancona
Tel. +39 071 2204248 · Fax: +39 071 2204378



member of
assorestauro ASS.I.R.C.CO.