POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Malte e conglomerati a vista: verso un atlante dinamico

Original
Malte e conglomerati a vista: verso un atlante dinamico / Fasana, S., Zerbinatti, M., Grazzini, A., Vecchio, F.. - ELETTRONICO. - (2019). (Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità Politecnico di Torino 25-27 settembre 2019).

Availability:
This version is available at: 11583/2751032 since: 2020-02-02T22:10:53Z

Publisher:
Politecnico di Torino

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

14 November 2026

MALTE E CONGLOMERATI *A VISTA*. VERSO UN ATLANTE DINAMICO.

'Exposed' mortars and conglomerates. Design for a dynamic atlas.

Sara Fasana*, Marco Zerbinatti*, Alessandro Grazzini*, Federico Vecchio
**Politecnico di Torino (Torino, Italia); sara.fasana@polito.it – marco.zerbinatti@polito.it - alessandro.grazzini@polito.it .*

Keywords: mortars, conglomerates, experimental data, maintenance, innovative method, dynamic atlas.

Riassunto

Il contributo espone i principali obiettivi e i parziali risultati specifici di una ricerca sperimentale sul tema generale delle malte e dei conglomerati *a vista* per l'edilizia di interesse storico documentario; la ricerca è sviluppata da un gruppo di lavoro del Politecnico di Torino ed è innestata sugli esiti di una ricerca sperimentale sulle malte con aggregati locali per edifici storici. Lo studio in corso, coordinerà in particolare approfondimenti rivolti alla caratterizzazione meccanica e prestazionale di materiali sia tradizionali sia innovativi. Il filone di indagine ha tra i principali obiettivi i seguenti:

- allestire un *atlante* scientifico dinamico per orientare scelte e applicazioni di malte e conglomerati "locali" per interventi di restauro, di recupero, di manutenzione straordinaria e/o programmata di edifici storici;

- incentivare (in particolare per i piccoli cantieri) l'uso di materiali locali a 'filiera corta' compatibili con gli edifici, posti in opera con tecniche e modi tradizionali;

- valorizzare modalità di scelta e di azione che siano orientate verso l'edilizia circolare (nel rispetto dei valori di testimonianza storico-tecnologica e delle stratificazioni significative di cui tali edifici sono portatori).

La ricerca si avvale di prove in laboratorio e dei dati acquisiti in alcuni cantieri di edifici storici (vincolati e non), anche con il supporto della Soprintendenza per i beni architettonici del Piemonte e di Aziende produttrici di materiali, partner del progetto.

Abstract

The report sets out the main objectives and presents the first specific results of an experimental research on the general theme of mortars and conglomerates for historic and traditional buildings; the work is developed by a research group of the Polytechnic of Turin, and grafted on the results of an experimental research on local aggregates based mortars for historical buildings. The ongoing study will coordinate in particular in-depth studies aimed at the mechanical and performance characterization of innovative materials. One of the main objectives of this line of research is the following:

- to define a reference 'atlas', compared to many mixtures of mortars and conglomerates, for restoration, recovery, and maintenance of historic buildings,

- to encourage (in particular for small yard sites) the use of local materials with a 'short supply chain', compatible and installed with traditional techniques and methods,

- to enhance methods of choice oriented towards the circular economy (respecting their values of historical and technological testimony and significant stratifications).

The research is also based on experimental data by laboratory tests and by some sites of historic buildings, also with the support of the Superintendence for the architectural heritage of Piedmont and companies producing materials.

Necessità e sfide per la conoscenza e l'innovazione. (S. Fasana)

Le malte e i conglomerati storici, siano essi "strutturali (per es. giunti di allettamento per la tessitura muraria), di supporto per la "finitura", o "superfici a vista", costituiscono uno degli elementi nodali nella partita della conservazione degli edifici e, in generale, dei manufatti storici: dal punto di vista della durabilità del bene, oltreché per il valore di immagine che loro compete [1]. Quando necessaria, quindi, la scelta del materiale costituisce elemento fondamentale per orientare correttamente un intervento di riparazione, assicurandone la conservazione e l'efficacia nel tempo. Per questo, sono ormai consolidati [6], e ampiamente documentati in letteratura, i metodi di indagine per la caratterizzazione dei campioni di malte storiche, prelevati *in situ* da monumenti o edifici di elevato valore culturale ambientale: obiettivo diretto delle fasi di diagnostica è dunque supportare, caso per caso, la formulazione specifica da seguire per il confezionamento delle malte *di integrazione* (più raramente *di sostituzione*[1]). Ciò avviene, in particolare, quando tali edifici sono oggetto di specifici strumenti di tutela.

Dal punto di vista pratico, tra le principali criticità rileva il fatto che tale prassi virtuosa non risulti diffusamente applicabile, per molteplici ragioni, nei numerosi interventi che si rivolgono al patrimonio culturale architettonico diffuso. Patrimonio architettonico diffuso, che, al pari, se non più, delle emergenze di riconosciuto valore "monumentale", connota localmente in modo estensivo ogni sistema culturale-ambientale, inteso come "*ambitus*".

Dal punto di vista scientifico, si stanno sviluppando strumenti innovativi di gestione e diffusione della conoscenza *(cfr. piattaforme come DB- Heritage, E-Rish, ecc.*), nei quali possono confluire le singole ricerche e i loro esiti puntuali: essi assolvono generalmente a una funzione di tipo documentale, allestendo una sorta di archivio tematico dei differenti contributi. Una possibile criticità/il limite, in questo caso, risiede nella ridotta possibilità che tali risultati di eccellenza possano incidere in modo significativo sulla qualità degli interventi "diffusi", in relazione con le differenti fasi che presiedono alla loro *conduzione*, dal progetto della diagnostica, sino alla scelta del materiale (che raramente sarà ottenuto con una formulazione *ad hoc*) e alla sua applicazione finale.

Una ideale comparazione dello "*stato del sapere*" (il progresso metodologico e scientifico) con lo "*stato del fare*" (la qualità dell'approccio al progetto e dell'intervento) scaturirebbe nel rilievo di una apparente contraddizione.

In un presente in cui il progresso delle conoscenze è supportato dalla disponibilità di raffinatissime strumentazioni per il rilievo e l'analisi, in un contesto tecnologico che permetterebbe di assolvere alla produzione di materiali di altissima "qualità", appare sempre più "faticoso" operare per limitare il ripetersi di interventi diffusi che si rivelano in breve tempo inefficaci a causa, per esempio, di un'incompatibilità chimico-fisico-meccanica rispetto al supporto[2], inizialmente non rilevata, ma troppo tardi evidente (si pensi ai fenomeni di distacco delle malte di riparazione) o a errate modalità realizzative [1, 2].

Talvolta, il quadro dei requisiti prestazionali viene confuso, e assolto, con una acritica verifica di rispondenza a norme tecniche sempre più "puntuali", ma non capaci di contemperare efficacemente le auspicabili, numerose e necessarie, verifiche di compatibilità (estetica, storica, fisico-meccanica e chimica, per esempio). Talvolta alla carenza conoscitiva del caso specifico,

1. In un paragrafo successivo si propone una sintesi dei criteri di classificazione delle malte: tra questi, è utilmente diffusa la classificazione in funzione del loro utilizzo.

2 - La superficie di interfaccia tra intonaco e muratura è il luogo di innesco di fenomeni di natura meccanica e termo-igrometrica, dovuti a variazioni termiche, umidità di risalita [3, 4] o sollecitazioni sismiche.

si associano successive scelte di materiali condotte sulla base di un rigido ventaglio di soluzioni disponibili *pre-formulate*. Con ciò, le cause "tecniche" possono essere numerose, differenti caso per caso.

Sotto il profilo teorico, tuttavia, esse amplificano l'urgenza di una presa d'atto: occorre colmare, con la diffusione del *metodo* e con la *documentazione tecnica/tecnologica applicata* la cesura attuale tra "sapere e fare". L'attuale moltiplicarsi di risposte immesse sul mercato, l'apparente disponibilità di prodotti "nuovi" e di facile applicazione, devono essere supportate da una salda e diffusa *conoscenza di base*. Occorre recuperare l'*arte*[3].

Nel caso specifico delineato, l'obiettivo essenziale da perseguire è che la malta da riparazione abbia caratteristiche simili e compatibili, caso per caso, con quelle dell'intonaco storico e della muratura. In termini più generali, occorre operare per indirizzare, caso per caso, la scelta su materiali che, pur rispettando (o *approssimando*) gli attuali requisiti normativi, contemperino i requisiti costituzionali (che derivano dalle caratteristiche intrinseche, e si esplicano principalmente nel valore di immagine), insieme con i requisiti prestazionali (che tengano in conto le caratteristiche complesse del supporto, quali per es. la tessitura/apparecchiatura muraria, e che si esplicano dunque nel comportamento): da ciò la compatibilità[4]. Ciò è cosa diversa dal tentativo di *mimesi* perseguito con una sommaria ricerca di apparente similitudine nell'aspetto, al quale *forse* si perviene comunque in alcuni casi.

A rigore, il complesso quadro metodologico, le criticità e gli obiettivi delineati con riferimento al caso dell'intervento sul patrimonio esistente con finalità di conservazione (che rappresenta ormai il 75% degli interventi in edilizia), possono analogamente declinarsi per il caso dell'intervento finalizzato alla "innovazione dell'esistente", e, ancora, per il caso delle nuove realizzazioni.

Non si può trascurare, per esempio, come una ampia gamma di materiali attualmente disponibili, formulati in risposta dell'applicazione di moderni protocolli di valutazione di Bio-Eco compatibilità, attingano largamente anche a conoscenze tecnologiche già consolidate nell'antichità[5]. In tal senso, è ormai ampiamente riconosciuta la capacità intrinseca di materiali tradizionalmente declinati all'uso di risorse locali di rispondere (*ante litteram*) ai criteri di "sostenibilità". Tale caratteristica è divenuta quanto mai importante in virtù, per esempio, di attuali o "futuri" protocolli di valutazione (si pensi ai CAM) "volti a selezionare prodotti con prestazioni ambientali migliori di quelle garantite dalle specifiche tecniche, ai quali attribuire un punteggio tecnico ai fini dell'aggiudicazione (in lavori pubblici) secondo l'offerta al miglior rapporto qualità-prezzo". Anche in questo caso, la "qualità" del prodotto rappresenta una condizione necessaria, ma non sufficiente, per garantire la "qualità" degli interventi (non esistono materiali 'buoni' o 'pessimi', esistono materiali idonei al caso specifico, i quali devono essere correttamente applicati): infatti, l'efficacia attesa può essere compromessa da cicli di posa in opera errati e, prima ancora, da acclarate incompatibilità del materiale scelto con le caratteristiche dei "moderni" supporti cui si prevede di applicarli.

L'obiettivo generale della ricerca in corso, della quale nel presente contributo si delinea l'impostazione metodologica e si commentano i risultati di una prima campagna di prove sperimentali, è il progetto di uno strumento dinamico operativo finalizzato a reintrodurre la *tradizione*[6] all'innovazione. Ogni generazione riceve un'*arte*, che consolidata e innovata in virtù del progresso tecnologico e dell'avanzamento del sapere, deve poter

3 - L'*arte*, in senso lato, rappresenta la "capacità di agire e di produrre, basata su un particolare complesso di regole e di esperienze conoscitive e tecniche, e quindi anche l'insieme delle regole e dei procedimenti per svolgere un'attività umana in vista di determinati risultati" (voc. Treccani).

4. Si intendono consolidati, e per questo implicitamente necessari, tutti i requisiti che devono essere soddisfatti da un intervento, e dunque dai materiali utilizzati, in merito ai principi assodati e universalmente riconosciuti nel restauro, quali la reversibilità.

5. Presso il DISEG del Politecnico sono in fase di conclusione degli studi relativi alla caratterizzazione di malte e intonaci provenienti da Aquileia, da scavi archeologici in siti di epoca Tardo Imperiale condotti dall'Università di Trieste sotto la guida della prof.sa Federica Fontana. Gli esiti sono sorprendenti, sia per la qualità dei materiali impiegati, sia per la perizia esecutiva dei manufatti multistrato.

6. der. di tradĕre «consegnare»

consegnare a quelle successive (azione che presuppone un'implicita e reciproca assunzione di responsabilità); l'innovazione è connaturata al *sapere applicato, nella misura in cui questo deve poter rispondere utilmente ad un complesso sistema di requisiti, che sono condizionati dal contesto non solo fisico, ma anche storico-culturale.*

È a partire da queste riflessioni e dall'attuale stato dell'arte che si è rilevata la necessità di approfondire la conoscenza di malte e conglomerati storici per affiancare ai risultati dell'analisi costituzionale (consolidata nel metodo e con un buon livello di disseminazione dei risultati) i risultati dell'analisi prestazionale, con particolare riferimento al comportamento meccanico.

Dalla conoscenza di tecniche tradizionali alla messa a punto di metodi operativi efficaci e di soluzioni applicative idonee. (M. Zerbinati, S. Fasana)

Gli approfondimenti in corso rappresentano uno sviluppo attuale innestato su rilevanti risultati di precedenti ricerche sviluppate presso il Dipartimento di Ingegneria Edile Strutturale e Geotecnica (di seguito DISEG, già Dip. di Ingegneria dei sistemi Edilizi e Territoriali) del Politecnico di Torino, sul tema generale delle superfici murarie dell'edilizia storica, con particolare riferimento alla rinnovata conoscenza di materiali e tecniche costruttive e realizzative storiche. Uno dei significativi prodotti di queste ricerche, è rappresentato dalla Collezione Permanente in due sezioni, "Terre coloranti" (che qui si cita solamente) e "Rassegna di sabbie e malte locali", allestite presso il Laboratorio Sistemi Edilizi del Politecnico di Torino. Le ricerche citate furono avviate con la principale finalità di recuperare e documentare materiali, princìpi e criteri operativi della tradizione (su basi di conoscenza scientifica) necessari e imprescindibili per la messa a punto di procedimenti attualizzati e/o innovativi per la conservazione, in virtù del loro valore documentario e di testimonianza tecnologica, insieme con il loro riconosciuto valore culturale ambientale. I materiali esposti nelle due sezioni sono sistematizzati per ambiti territoriali omogenei (anche nel rispetto della suddivisione geopolitica del territorio italiano preunitario), in coerenza con la necessità di documentare la ricca varietà di soluzioni e valori di immagine connaturati con l'uso storicamente consolidato dei materiali locali, improntando quindi una solida base concettuale per la successiva definizione di un Atlante.

Anche con riferimento a soluzioni specifiche approntate per interventi conservativi sul patrimonio diffuso, ogni elemento della ricca collezione è corredato da campioni di materiali originali (malte o intonaci storici prelevati *in situ*, anche da cantieri studio), da campionatura di sabbie locali vagliate secondo diverse classi granulometriche e dai rispettivi campioni di laboratorio ottenuti da specifiche formulazioni (con la definizione di appropriati fusi granulometrici). La raccolta e la catalogazione di sabbie locali utilizzate storicamente è costantemente alimentata, sia con procedere sistematico per ambiti territoriali, sia con riferimento a specifici approfondimenti per casi studio via via affrontati per consulenze di ricerca *ad hoc*.

Le conoscenze acquisite attraverso le ricerche citate in sintesi, costituiscono la base di partenza per la definizione di specifiche soluzioni applicative idonee ed efficaci, da approntare in successivi casi di studio. In particolare, sono stati condotti numerosi studi sperimentali per la caratterizzazione di malte e conglomerati storici, anche con prove a fatica e di tipo termo-igrometrico per identificare, caso per caso, la malta di riparazione più duratura, compatibile con una specifica muratura storica.

7. Tra gli esempi più significativi di messa a punto di metodi operativi e soluzioni applicative efficaci, si possono citare alcuni interventi, anche su esempi di patrimonio architettonico riconosciuto come Bene Unesco, di interesse per l'alto valore di testimonianza tecnologica delle conoscenze da essi acquisite.
a) - La Cappella del Complesso della Crocefissione del Sacro Monte di Varallo;
b) – La Cappella 13 del Sacro Monte di Varallo (nell'ambito di un Programma di Ricerca Finanziato, denominato "Refrescos" - 2011-2013);
c) – La caratterizzazione degli intonaci per il restauro della Cappella 1 del Sacro Monte di Crea.
A questi esempi, si aggiungono studi di cui alla Nota 5.

La fase di caratterizzazione sperimentale e la successiva formulazione di malte *ad hoc* hanno permesso di supportare efficacemente la scelta del materiale più compatibile in importanti siti di restauro [7][4].

Atlante di malte e conglomerati storici: conoscenza e metodo per orientare alla definizione di procedimenti appropriati. (M. Zerbinati, S. Fasana)

Il progetto dell'atlante scientifico dinamico, in fase di allestimento, si basa sull'impostazione metodologica delle ricerche illustrate, per ampliarne le conoscenze finora acquisite attraverso la ricerca, l'analisi e le esperienze applicative sinteticamente descritte. Attualmente, anche e in particolare attraverso un'attività di laboratorio programmata, si sta procedendo alla formulazione e al confezionamento di numerose miscele di malte caratterizzate da un'unica curva di distribuzione degli aggregati e con una sabbia silicea "standard", ottenendo per ciascuna un numero di provini di 30 unità. Per ciascun tipo di miscela (con distribuzione di aggregati costante e variazione di tipi di leganti e rapporti legante/aggregato), con il supporto delle indagini sperimentali e di laboratorio si esegue la caratterizzazione meccanica (cfr. paragrafo successivo).

L'obiettivo è di ottenere dati numerici significativi a corredo dell'atlante di riferimento per valutare il comportamento e la compatibilità di numerosissime malte con diversi supporti di destinazione e quindi può essere uno strumento utile per gli operatori (progettisti, soprintendenze e applicatori) nel processo decisionale preliminare agli interventi.

La ricerca si inserisce in modo organico e dialettico nel dibattito scientifico internazionale sensibile alla caratterizzazione delle malte all'interno dei cantieri di restauro [3, 8, 9].

L'insieme delle conoscenze (composizione, curva granulometrica, caratteristiche costituzionali, risultati sperimentali per caratterizzazione fisica e meccanica, dati sulla compatibilità con differenti tipi di supporto) sarà progressivamente sistematizzata in uno strumento metodologico, operativo, interattivo, finalizzato a supportare la conoscenza e l'analisi, e di conseguenza, utile per orientare in modo efficace la scelta del materiale più idoneo per il caso specifico, dal punto di vista della compatibilità estetica, fisico-chimica e, non in ultimo, meccanica.

L'architettura dei dati dell'atlante, quindi in particolare la modalità di consultazione e/o integrazione dei suoi contenuti scientifici e tecnologici, sarà tale da consentire differenti possibilità di interazione, anche in conseguenza delle caratteristiche dell'intervento.

Con particolare riferimento agli interventi sull'esistente, dal punto di vista metodologico si possono infatti configurare, in sintesi, quattro differenti tipi di approccio (in relazione con le ipotizzabili condizioni al contorno)[8]:

- A) interventi con possibilità di eseguire approfondite indagini diagnostiche, successiva formulazione *ad hoc* del materiale idoneo e definizione delle modalità operative di posa in opera;
    - si realizza in questo caso un percorso iterativo ***o-i-o/n-i: out*** (confronto e supporto metodologico con casistica analoga catalogata nell'atlante) - ***in*** (acquisizione delle conoscenze desunte dal caso di studio) – ***out/new*** (supporto all'elaborazione delle formulazioni *ad-hoc*) – ***in*** (acquisizione e catalogazione della formulazione innovativa);

8. Il linguaggio e la codifica utilizzati nella descrizione del presente paragrafo sono funzionali alla strutturazione dell'architettura di dati dello strumento dinamico interattivo.

9. Un elemento centrale nella classificazione è la distinzione tra differenti categorie di materiali costituivi capaci di generare differenti famiglie di malte, con diverse prestazioni e compatibilità fisiche, chimiche e meccaniche. Volutamente, non si ripercorrono le comunemente note distinzioni tra *malte aeree, malte idrauliche, malte cementizie, malte composte o bastarde*, *malte a comportamento pozzolanico* e così via. I principi costitutivi che portano ad aggiungere ai più comuni leganti e aggregati eventuali additivi e/o aggiunte sono specificati in ogni 'famiglia' di malta o di conglomerato specificamente prodotti.
I principali riferimenti lessicali utilizzati quali terminolgia e definizioni sono riferibili alle vigenti norme di settore, come per esempio (a titolo indicativo e non esaustivo): Norma UNI 10924:2001, Norma UNI EN 1015:2007 (e successivi aggiornamenti),

- B) interventi con possibilità di eseguire indagini diagnostiche, con necessità di ricorrere all'utilizzo di soluzioni pre-formulate e modalità operative già delineate;
    - si realizza in questo caso un percorso iterativo ***o-i-o/c: out*** (confronto e supporto metodologico con casistica analoga catalogata nell'atlante) ***- in*** (acquisizione delle conoscenze desunte dal caso di studio) ***– out/choose*** (supporto alla scelta tra soluzioni disponibili);
- C) interventi senza la possibilità di eseguire indagini diagnostiche e la necessità di utilizzare soluzioni premiscelate e modalità operative già definite;
    - si realizza in questo caso un percorso iterativo ***o-o/c: out*** (confronto e supporto metodologico con casistica analoga catalogata nell'atlante) ***– out/choose*** (supporto alla scelta tra soluzioni disponibili).
- D) interventi senza la possibilità di eseguire indagini diagnostiche e possibilità di utilizzare materiali localmente disponibili e miscelati a piè d'opera da applicatori esperti e conoscitori delle tecniche tradizionali;
    - si realizza in questo caso un percorso iterativo ***o-o/i-o-c: out*** (confronto e supporto metodologico con casistica analoga catalogata nell'atlante) ***– out/in*** (l'atlante può essere arricchito da nuovi *case-history*) – ***out - choose*** (supporto alla scelta di una specifica soluzione).

Comune ad ogni tipo di approccio sarà la documentazione sistematica in apposita appendice (quali – quantitativa per i casi A), B) e D), o solo qualitativa, nel caso C) dell'intervento eseguito, allo scopo di poterne monitorare nel tempo il comportamento.

Tipi di malte: dai criteri di classificazione alla scelta operativa. (M. Zerbinati, S. Fasana, F. Vecchio)

Predisposta una solida base metodologica, l'efficacia di uno strumento operativo necessita di criteri semplificati, utili a garantirne l'applicabilità, anche modulata in funzione di differenti livelli di approfondimento (potenzialmente differenti per ogni situazione). Analogamente alla sintetica individuazione delle possibili casistiche di intervento delineate al paragrafo precedente, risulta quindi necessario corredare l'atlante di molteplici criteri di classificazione, funzionali alla costruzione di una matrice di riferimento utile per delineare percorsi complessi in funzione dei differenti intrecci possibili. Sensibilità e preparazione dei soggetti coinvolti, specificità del caso, condizioni e criticità al contorno contribuiranno a indirizzare l'approccio e determinare la qualità dei risultati ottenuti. In questo scritto si affronta in particolare l'impostazione della classificazione dei tipi di malte e conglomerati, con l'obiettivo di delineare varietà e complessità che a tale classificazione sono sottese.

In letteratura e nel novero delle vigenti normative di settore, la loro classificazione definita sulla base degli elementi costitutivi è nota e consolidata: per esempio, la produzione di *malte, paste, intonaci e calcestruzzi*, si basa su criteri formulativi di volta in volta utilizzati e tra loro differenti per composizione e rapporti di costituzione.[9]

Tuttavia, come tutte le classificazioni, quella utilizzata non può essere considerata esaustiva, ma innanzitutto deve essere un mezzo per costruire

categorie strumentali per gli obiettivi della ricerca. Di essi, quello principale resta la corretta impostazione metodologica, cui fare conseguire scelte mirate e adeguate tra le migliori possibili.

Non si può trascurare, per esempio, che lo 'strumento' dell'atlante, nella prassi operativa, deve essere opportunamente contemperato con il dato normativo, come sottolineato in Nota 8.

Diviene quindi fondamentale allestire un "raccordo" (cfr. Tab. 1) che guidi alla definizione di un ristretto ventaglio di soluzioni idonee, tra quelle disponibili, in ottemperanza a quanto è utile o eventualmente prescritto e che esso sia continuamente armonizzato e aggiornato[10]. Questo presuppone anche un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali già presenti sul mercato, che possono essere utilizzati tal quali, o come componente di soluzioni formulate *ad hoc*.

Dalla formulazione della miscela alla caratterizzazione prestazionale. (M. Zerbinati, S. Fasana)

Tra gli obiettivi specifici della ricerca in corso vi è la valutazione delle caratteristiche meccaniche (resistenza a compressione e flessione, modulo elastico dinamico e modulo elastico statico) di alcune malte formulate con riferimento a formulazioni tra le più comuni e diffuse nell'edilizia storica. La ricerca generale è *in fieri*: attualmente sono state formulate e prodotte malte per una prima campagna di prove (Gruppo 1).

Per ogni tipo di malta del Gruppo 1, sono stati inizialmente prodotti tre set di provini (in due serie: a – dim. Standard 40x40x160 mm e b –dim. 30x30x300 mm), rispettivamente: I) per test a 28 gg; II) per test a 120 gg; III) per la catalogazione e archiviazione del repertorio materiale a corredo dell'atlante

*Classificazioni proposte - **UTILIZZO***		CLASSE (Malte a prestazione garantita - NTC2018 - circolare)					
		M 2,5	M5	M 10	M15	M 20	M d
Malte per il **restauro**	norme/lett	x	x	x	x	-	
	disp. pre-formulate						
Malte per **fissaggio**	norme/lett		-	x	x	x	-
	disp. pre-formulate						
Malte **strutturali**	norme/lett			x	x	x	x
	disp. pre-formulate						
Malte per **integrazione/intonaci a vista**	norme/lett	?	x	x	x	-	
	disp. pre-formulate						
Malte per **murature/allettamento**	norme/lett						
	disp. pre-formulate						
Malte per **iniezioni**	norme/lett				x	x	-
	disp. pre-formulate						
Legenda:		sezione da compilare solo laddove si rilevino sul mercato disponibilità di prodotti dichiarati idonei per la classificazione d'Uso ma con classe ritenuta non coerente con la sezione NORME/LETT:					
	x	consigliato caso per caso					
	-	raramente idoneo/raramente necessario					
		non idoneo/non necessario generalmente					

Tab. 1. Matrice semplificata di comparazione operativa requisiti utilizzo/NTC2018 (interazione con Tabelle coparative materiali pre-formulati disponibili)

. Nel paragrafo che segue saranno presentati i primi risultati dei test condotti presso il Laboratorio Malte del Dipartimento DISEG (Politecnico di Torino) sul primo set di campioni prodotti con una prima fase di lavoro (test a 28 gg).

Attualmente, sono in corso di sviluppo due differenti fasi:

- caratterizzazione del secondo set di provini della prima fase, conservati in ambiente non controllato;

10. La tabella a fronte (Tab. 1) rappresenta un estratto esemplificativo di matrice di comparazione operativa già utile all'indirizzo della scelta; righi appositi (in evidenza in Tab. 1) permettono l'integrazione dinamica con i contenuti di tabelle comparative per la catalogazione ragionata dei materiali disponibili, in funzione della classificazione di utilizzo.

- confezionamento dei campioni del Gruppo 2;
- replica di due set (IV) e (V) di provini del Gruppo 1, da sottoporre ad invecchiamento in camera climatica (T e UR controllati con cicli su intervalli prestabiliti) e successivamente ai test per la caratterizzazione meccanica, ai fini della comparazione dei risultati ottenuti dai test sul set 2 (in ambiente non controllato a 120 gg).

A differenza della caratterizzazione della costituzione, quella meccanica di campioni prelevati *in situ* difficilmente può portare a ottenere dati attendibili, poiché i campioni che è possibile prelevare sono troppo piccoli per l'esecuzione di prove per stress meccanico in laboratorio. Per questo, al termine della Fase due, quando si ritiene che la quantità di dati sperimentali disponibili possa essere significativa da un punto di vista statistico, sarà avviata, una specifica fase trasversale, che ha come obiettivo la messa a punto e la verifica di un metodo già utilizzato e proposto in letteratura, che prevede l'utilizzo di una malta fresca forte, "malta di confinamento", per la riconfigurazione dimensionale di campioni da sottoporre a prove di comportamento meccanico [5]. Appositi set di provini, realizzati utilizzando lacerti di campioni delle malte dei gruppi via via formulati, saranno analizzati, e i risultati confrontati con quelli ottenuti da provini con dimensioni standardizzate.

Formulazione e confezionamento di malte in laboratorio e primi risultati sperimentali. (M. Zerbinatti, A. Grazzini, F. Vecchio)

Le malte del Gruppo 1 riprodotte in laboratorio appartengono a diversi tipi tra quelli prima richiamati in nota: *malte aeree, idrauliche, cementizie e bastarde*. Per ciascuna di tali formulazioni, sono stati prodotti 9 (tre set da 3) campioni standardizzati (40x40x160) mm [secondo UNI 1015:2007], di cui solo il primo set è stato sottoposti a test a rottura, mentre i restanti 2 set sono stati conservati in ambiente di laboratorio. Le malte prodotte e analizzate codificate dalle lettere **G** (malte di sabbia e **calce idraulica**), **H** (**1-4** malte di sabbia e **cemento Portland [32,5], 5-8** malte di sabbia e **cemento Portland [42,5]**), **I** (malta di sabbia e **cocciopesto**), **L** (malta di sabbia e **perlite**), **M** (malta di sabbia e **calce idrata in polvere**), **N** (malta di sabbia e **grassello di calce**), **O** (malta di sabbia, **cocciopesto** e **calce idrata in polvere**) e **P** (malta di sabbia, **pozzolana** e **calce idrata in polvere**.

La principale misurazione effettuata nella sperimentazione ha riguardato la determinazione del modulo elastico mediante apparecchio a ultrasuoni (Fig. 1a)[11] Questa indagine non distruttiva e ripetibile consente varie osservazioni: permette di rilevare eventuali anomalie nei composti (crepe, porosità o cavità), consente letture a distanza di tempo per valutare variazioni nel materiale (si pensi al processo di carbonatazione delle malte e ai suoi riflessi sui parametri meccanici), permette di comparare i dati con quelli derivati dalle prove distruttive per l'ottenimento di moduli elastici statici.

a) b)

Fig. 1. Test agli ultrasuoni (provini 30x30x300) (a) e (b) lettura del tempo di volo

11. Il test ad ultrasuoni è descritto dalla norma UNI EN 12504-4: 2005.

Le prove condotte con apparecchio a ultrasuoni sono state eseguite sia su provini normalizzati prodotti secondo la Norma UNI 1015:2007, sia su provini non normalizzati (Gruppo 2) di dimensione 30x30x300 mm, al fine di valutare la coerenza (o meno) tra i dati (un provino più lungo consente di avere una maggiore sequenza di onde ultrasoniche all'interno del mezzo). I tempi di volo ottenuti sono stati utilizzati per calcolare il modulo elastico dinamico Ed secondo la (1):

$$E_d = v_m^2 \cdot \rho_m \qquad (1)$$

dove v_m è la velocità media di propagazione (m/s), ϱ_m la densità media del materiale considerato (kg/m^3).

Poiché il modulo elastico è direttamente proporzionale alla velocità di transito degli impulsi a ultrasuoni, anche le formulazioni cui corrispondono velocità più elevate hanno valori più alti di E_d. Come si può vedere in Fig. 2, l'insieme di campioni che presentavano il valore medio di E_d maggiore era costituito da cemento o cemento e grassello di calce (categoria H), con l'eccezione dei campioni con una quantità preponderante di grassello di calce rispetto al cemento (H4 e H8). Tra la categoria H, il maggiore E_d è stato ovviamente registrato dai campioni composti da cemento 42,5 (H5, H6, H7, H8). In generale i campioni di cemento di categoria H hanno restituito valori alti: si può notare che con l'aumento del rapporto di calce / cemento, il valore di Ed è diminuito. Anche la categoria O2, che è costituita da sabbia, cocciopesto e calce idrata in polvere con rapporto aggregato/legante 3:1, ha mostrato un alto valore di E_d. L'alta velocità di queste formulazioni è probabilmente imputabile al fatto che i campioni hanno una elevata densità (e forse una ridotta porosità, non ancora testata). Per contro i valori assoluti più bassi di E_d sono stati registrati dagli esemplari realizzati con calce idraulica (categoria G). Anche tra le calce idrauliche, la malta G3 (che presentava un "taglio" di grassello di calce nella sua composizione) presentava un modulo elastico inferiore rispetto alle altre due malte (G1 e G2) che presentavano calce idraulica come legante. Confrontando i valori delle malte G1 e G2 è stato possibile vedere come la quantità di calce idraulica nella miscela ha influenzato il valore di E_d. Il rapporto aggregato / legante ha infatti influenzato la densità dei campioni, che era direttamente proporzionale a E_d.

Per un confronto con i risultati sperimentali del modulo elastico, sono stati eseguiti anche i test di resistenza a flessione e a compressione descritti dalla norma UNI EN 1015-11:2007 [7].

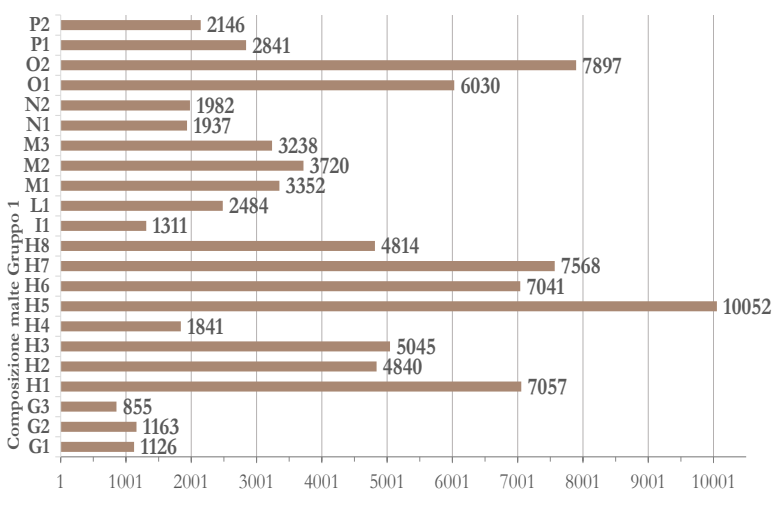

Fig. 2. Valori medi del Modulo elastico dinamico per i campioni del Gruppo 1, set I.

12. Per esempio, nel caso di un intonaco applicato al supporto murario, l'interfaccia di adesione corrisponde a un vincolo: gli spostamenti dovuti a sollecitazioni da dilatazioni termiche o per compressione sono impediti.

I risultati della resistenza alla compressione, rappresentati nel Grafico a) di Fig. 3, hanno confermato la tendenza di valori già osservata nella misurazione del modulo elastico dinamico.

Una malta più rigida corrisponde a valori di resistenza alla compressione più elevati e viceversa.

Il test di flessione è stato eseguito con 3 supporti. Per ragioni tecniche i dati dei test di flessione sulle malte G-H-I-L non sono attualmente disponibili, tuttavia la tendenza rilevata dai risultati delle restanti formulazioni ha confermato le caratteristiche meccaniche precedentemente ottenute, come si evince dal Grafico b) di Fig. 3.

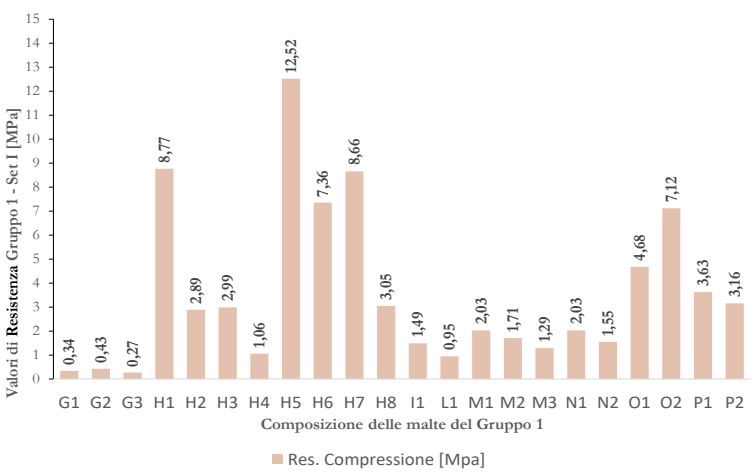

Fig. 3. Resistenze a compressione e a flessione per i Campioni del Gruppo 1, set I.

Discussione (M. Zerbinatti, A. Grazzini)

Il modulo elastico dei materiali ha una grande importanza specialmente in presenza di materiali accoppiati (per esempio, nel caso di un intonaco applicato a una muratura o a malte per giunti di allettamento). La malta applicata in opera, con l'avvio delle fasi di presa e indurimento, inevitabilmente è soggetta a fenomeni di ritiro che possono fare insorgere deformazioni e deformazioni controllate, solo parzialmente trasmesse alla muratura. I fenomeni di ritiro (anche legati ai composti di neoformazione derivati dal gesso), i cicli termici cui sono soggette, l'eventuale presenza di umidità nelle murature, ecc., non avrebbero grande influenza sulla durabilità delle malte se queste non fossero legate al supporto rigido[12].Di conseguenza, si innescano delle tensioni nel materiale applicato: le tensioni indotte nel materiale devono bilanciare quelle dovuti alla presenza del vincolo. Il valore è proporzionale al modulo elastico del materiale; quindi quanto maggiore si presenta lo sforzo di trazione o compressione tanto maggiore sarà la rigidità del materiale stesso. Perciò il modulo elastico dei materiali è estremamente importante nel caso di materiali accoppiati. Per evitare gli inconvenienti testè descritti è necessario che tra i due materiali (il nuovo e il preesistente) esista una adeguata compatibilità meccanica e che i valori dei moduli elastici siano compatibili. Ciò significa che il modulo elastico dell'intonaco applicato su una vecchia muratura deve essere simile, meglio se inferiore, a quello del supporto [1, 2]; in caso di integrazioni estese (si pensi al riempimento di giunti di murature erosi) anche simile a quello del materiale preesistente. In questo modo lo stress è sopportato complessivamente dal sistema murario, in una situazione più equilibrata rispetto a una ipotetica situazione originaria. Dunque, il 'parametro' modulo elastico è quello che meglio rappresenta la resistenza e la deformabilità del

materiale. L'atlante in costruzione conterrà il modulo elastico di un elevato numero di possibili formulazioni per malte (si ipotizza oltre 100 miscele) affinché sia più agevole confrontare valori sperimentali con quelli ipotizzati per casi specifici.

Conclusioni (M. Zerbinati, S. Fasana)

La scelta di un materiale idoneo e la sua corretta applicazione rappresentano fattori fondamentali per assicurare la durabilità, un adeguato comportamento e la conservazione del patrimonio architettonico, anche diffuso, di riconosciuto valore culturale ambientale e di testimonianza tecnologica. Il quadro di esigenze e di condizioni al contorno, nei quali tutti gli operatori sono tenuti a operare è alquanto complesso, e numerose le criticità che possono ostacolare l'applicazione della buona regola dell'*arte*. Allo stesso tempo, le conoscenze attualmente disponibili, se correttamente coordinate, possono garantire un alto livello qualitativo degli interventi. L'atlante dinamico si propone come strumento metodologico e operativo, con l'ambizioso obiettivo di contribuire a colmare, "dal basso", la cesura attuale tra "sapere e fare". L'insieme dei dati raccolti e sistematizzati, potrà utilmente rispondere alle esigenze e alle criticità delineate in modo concreto e operativo, anche con soluzioni predefinite, per: il supporto all'analisi, l'indirizzo alla scelta, la guida all'applicazione di malte e conglomerati in interventi manutentivi e conservativi.

Bibliografia

1. Bocca P., Grazzini A. and Masera D. (2011) Fatigue behaviour analysis for the durability prequalification of strengthening mortars. In: *Journal of physics.* Conference series 305 *Damage Assessment of Structures* (Damage in concrete structures 012041). University of Oxford 2011.
2. Bocca P. and Grazzini A. (2010) *Durability evaluation of strengthening mortars applied to historical masonry structures*. In J. Zachar, P. Claisse, T. R. Naik, & E. Ganjian (Eds.), Proceedings of the 2th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (Vol. 3, pp. 1419-1429). Ancona 2011.
3. Freire T., Silva A. S., Veiga R. and De Brito J. (2010) *Characterization of portuguese historical gypsum mortars: a comparison between two case studies*. In: Materials Science Forum 636-637 pp. 1258-1265.
4. Formia A., Serra C. L., Zerbinatti M. and Tulliani J. M. (2014) *The plasters of the Sacro Monte of Varallo Sesia. From the characterization to the proposition of a restorative mix*. In: Case Studies in Construction Materials 1(2014) pp 46-52. Elsevier. 10.1016/j.cscm.2014.04.001.
5. Magalhães A., Veiga R. (2009) *Physical and mechanical characterisation of historic mortars. Application to the evaluation of the state of conservation* In: Materiales de Construcciòn, Vol. 59, 295, (pp. 61-77), julio-septiembre 2009. ISSN: 0465-2746. doi: 10.3989/mc.2009.419070
6. Schäfer J., Hilsdorf H.K. (1993) Ancient and new lime mortars: the correlation between their composition, structure and properties. In: RILEM Proceedings, 21 *Conservation of stone and other materials* Paris 1993. (Vol I, pp. 605 – 612). London: E.&F.N. Spon.
7. UNI EN 1015-11:2007 Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita
8. Veiga R., Fragata A., Velosa A. L., Magalhaes A. C. and Goreti M. (2010) Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. In: International Journal of Architectural Heritage, 4(2010) pp 177-195.
9. Veiga R., Silva A. S., Tavares M., Santos A. R. and Ampreia N. (2013) *Characterization of renders and plasters from a 16th Century Portuguese Military Structure: chronology and durability*. In: Restoration of Buildings and Monuments. Vol. 19, n.4, (Ag. 2013) (pp. 223–228). DeGruiter: Birkhauser: Basel

Note:

1 In un paragrafo successivo si propone una sintesi dei criteri di classificazione delle malte: tra questi, è utilmente diffusa la classificazione in funzione del loro utilizzo.

2 La superficie di interfaccia tra intonaco e muratura è il luogo di innesco di fenomeni di natura meccanica e termo-igrometrica, dovuti a variazioni termiche, umidità di risalita [3, 4] o sollecitazioni sismiche.

3 L'arte, in senso lato, rappresenta la "capacità di agire e di produrre, basata su un particolare complesso di regole e di esperienze conoscitive e tecniche, e quindi anche l'insieme delle regole e dei procedimenti per svolgere un'attività umana in vista di determinati risultati" (voc. Treccani)

4 Si intendono consolidati, e per questo implicitamente necessari, tutti i requisiti che devono essere soddisfatti da un intervento, e dunque dai materiali utilizzati, in merito ai principi assodati e universalmente riconosciuti nel restauro, quali la reversibilità.

5. Presso il DISEG del Politecnico sono in fase di conclusione degli studi relativi alla caratterizzazione di malte e intonaci provenienti da Aquileia, da scavi archeologici in siti di epoca Tardo Imperiale condotti dall'Università di Trieste sotto la guida della prof.sa Federica Fontana. Gli esiti sono sorprendenti, sia per la qualità dei materiali impiegati, sia per la perizia esecutiva dei manufatti multistrato.

6 der. di tradĕre «consegnare»

7 . Tra gli esempi più significativi di messa a punto di metodi operativi e soluzioni applicative efficaci, si possono citare alcuni interventi, anche su esempi di patrimonio architettonico riconosciuto come Bene Unesco, di interesse per l'alto valore di testimonianza tecnologica delle conoscenze da essi acquisite.
a) - La Cappella del Complesso della Crocefissione del Sacro Monte di Varallo;
b) – La Cappella 13 del Sacro Monte di Varallo (nell'ambito di un Programma di Ricerca Finanziato, denominato "Refrescos" - 2011-2013);
c) – La caratterizzazione degli intonaci per il restauro della Cappella 1 del Sacro Monte di Crea.
A questi esempi, si aggiungono studi e caratterizzazioni condotte su campioni di malte provenienti dal Sito di scavi archeologici lungo la Via Giulia di Aquileia, afferenti all'Epoca Tardo Imperiale, I° e II° periodo (III / V SECOLO D.C.).

8 Il linguaggio e la codifica utilizzati nella descrizione del presente paragrafo sono funzionali alla strutturazione dell'architettura di dati dello strumento dinamico interattivo.

9 . Un elemento centrale nella classificazione è la distinzione tra differenti categorie di materiali costituivi capaci di generare differenti famiglie di malte, con diverse prestazioni e compatibilità fisiche, chimiche e meccaniche. Volutamente, non si ripercorrono le comunemente note distinzioni tra *malte aeree, malte idrauliche, malte cementizie, malte composte o bastarde*, *malte a comportamento pozzolanico* e così via. I principi costitutivi che portano ad aggiungere ai più comuni leganti e aggregati eventuali additivi e/o aggiunte sono specificati in ogni 'famiglia' di malta o di conglomerato specificamente prodotti.
I principali riferimenti lessicali utilizzati quali terminolgia e definizioni sono riferibili alle vigenti norme di settore, come per esempio (a titolo indicativo e non esaustivo): Norma UNI 10924:2001, Norma UNI EN 1015:2007 (e successivi aggiornamenti),

10. La tabella a fronte (Tab. 1), rappresenta un estratto esemplificativo di matrice di comparazione operativa già utile all'indirizzo della scelta; righi appositi permettono l'integrazione dinamica con i contenuti di tabelle comparative per la catalogazione ragionata dei materiali disponibili, in funzione della classificazione di utilizzo.

11 . Il test ad ultrasuoni è descritto dalla norma UNI EN 12504-4: 2005.

12 . Per esempio, nel caso di un intonaco applicato al supporto murario, l'interfaccia di adesione corrisponde a un vincolo: gli spostamenti dovuti a sollecitazioni da dilatazioni termiche o per compressione sono impediti