

Tecniche e prodotti di restauro

Il consolidamento

di Salvatore Lorusso e Maria Teresa Gentile

Il presente studio prende in esame prodotti e tecniche relativi al consolidamento, uno degli stadi operativi, da ritenere particolarmente importante, nell'ambito dell'intervento di restauro e/o conservazione dei manufatti di interesse storico-artistico. Si fa riferimento alla sperimentazione in corso di svolgimento sull'impiego dei silicati di etile come consolidanti su materiali quali arenarie, marmi, calcari in diversi stati di decoesione e/o cattiva adesione, impoverimento dei giunti e quant'altro va a discapito della loro staticità nonché della conservazione.

Il restauro come "riconoscimento dell'opera nella sua polarità storico-estetica" - definito da Cesare Brandi nella sua "Teoria del Restauro" del 1960 - e l'affermazione del concetto di "conservazione", a partire dalla definizione di "bene culturale" quale "testimonianza materiale avente valore di civiltà" - conferita dalla "Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, artistico, archeologico e del paesaggio" nel 1967 - hanno condotto al superamento di una visione meramente estetica degli "oggetti" d'arte, ponendo in risalto un aspetto altrettanto caratterizzante: vale a dire quello "materiale" [1-5]. Da tali premesse, a partire dagli anni Settanta del secolo scorso, si è andata affermando l'importanza della conoscenza dei materiali costituenti i beni culturali, con l'applicazione, in scala sempre maggiore, delle analisi sperimentali e delle tecnologie più avanzate.

Nella prassi del restauro e della conservazione, quanto detto ha prodotto un approccio all'opera di tipo "critico", rendendo così necessaria sia l'indagine storico-filologica sia l'analisi diagnostica. A questa prima fase propedeutica al restauro, consistente nella caratterizzazione dei materiali e nella valutazione del loro stato di conservazione, fanno seguito gli interventi veri e propri, riconducibili fondamentalmente alle operazioni di: *pulitura, consolidamento, integrazione, protezione*.

Tali atti per essere metodologicamente corretti devono sottostare ad alcuni principi teorico-pratici definiti per la prima volta dalla "Carta del restauro del 1972". In essa sono state tracciate le linee guida per l'impiego delle tecniche e dei prodotti idonei: preferibilmente quelli sperimentati e consigliati dall'Istituto Centrale del Restauro, o comunque collaudati [6].

Nella successiva "Carta del restauro del 1987" sono specificati i termini più ricorrenti, ormai ben noti agli specialisti del settore, che definiscono i diversi interventi sui beni culturali. Il restauro,

S. Lorusso, M.T. Gentile, Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali - Università di Bologna (sede di Ravenna).
mtgentile@virgilio.it.



Figura 1 - Veduta di un tratto di Mura Civiche della città di Viterbo (X-XIII sec.) in seguito al crollo avvenuto nel gennaio del 1997

inteso come "qualunque intervento che, nel rispetto dei principi della conservazione e sulla base di preve indagini conoscitive di ogni tipo, sia rivolto a restituire all'oggetto, nei limiti del possibile, la relativa leggibilità e, ove occorra, l'uso" [7], presuppone la preliminare conoscenza dei materiali e della tipologia del degrado al fine di bene operare per "risanare" il manufatto: si tratta di impiegare tecniche e prodotti sperimentati sui diversi materiali ed in relazione alle condizioni conservative.

L'obiettivo della conservazione, come insieme di "atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata alla configurazione materiale dell'oggetto considerato" [7], è conseguito attraverso interventi relativi alla materia, al suo "ciclo di vita", in quanto da essa dipende la "trasmissibilità" dei valori di "civiltà" che corrisponde alla finalità stessa dell'intervento. La manutenzione, ovvero "l'insieme di atti programmaticamente ricorrenti, diretti a mantenere l'integrità e la funzionalità, specialmente dopo interventi eccezionali di restauro e/o conservazione" [7] viene rivolta al mantenimento della "funzionalità" di un bene, il che equivale a dire fruibilità di esso. Essa è fondamentale ai fini conservativi e deve servire a procrastinare gli interventi di restauro, i quali sono da ritenere sempre invasivi per il manufatto.

Negli anni Ottanta sono stati stilati alcuni documenti che analizzano le differenti forme di alterazione e/o degradazione che possono rinvenirsi sui materiali lapidei, denominati Normal, nei quali è presente anche la descrizione dei metodi di restauro e dei prodotti migliori che è preferibile impiegare [8]. Le operazioni di restauro non esauriscono gli interventi che devono essere eseguiti sui beni culturali per poterne assicurare la buona conservazione: occorre intervenire, infatti, sulle condizioni ambientali, operando secondo una prassi di tipo "preventivo", tesa a scongiurare il degrado del manufatto. I suddetti atti devono condurre ad una corretta fruizione, la quale va intesa come momento di valorizzazione e tutela dei beni stessi. Prima di passare a parlare del consolidamento - quale stadio operativo, nell'ambito del restauro, tanto emblematico quanto tuttora aperto - appare

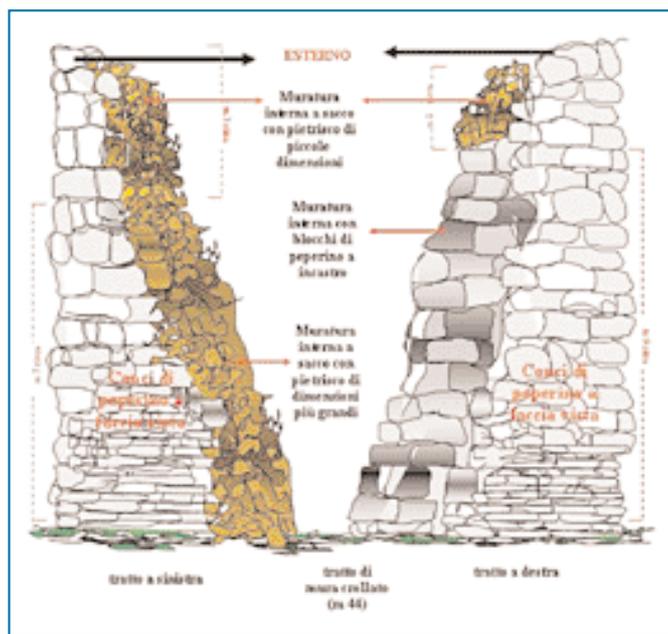


Figura 2 - Mura Civiche di Viterbo: schema raffigurante i tratti di mura interessati dal crollo e le tecniche di fabbricazione

importante dare una breve definizione dei termini maggiormente impiegati, al fine di distinguere in correttezza le diverse operazioni. I prodotti utilizzati devono possedere la caratteristica dell'*idoneità*, ovvero rispondere ad alcuni importanti requisiti:

- compatibilità^a;
- reversibilità^b;
- efficacia^c;
- non pericolosità^d.

Tali caratteristiche, della massima importanza ai fini della conservazione, per poter essere verificate hanno bisogno di anni di sperimentazione: ciò allo scopo di prevenire danni eventuali causati da prodotti non idonei. Insieme con i suddetti aspetti si pone anche quello relativo alla stabilità chimica dei prodotti da impiegare per il restauro. Attualmente, pur nel rispetto delle indicazioni suddette, si fa pressante l'esigenza della collaborazione, a livello nazionale e internazionale, fra studiosi ed enti che si occupano della conoscenza e della conservazione del patrimonio, al fine di addivenire alla sperimentazione di nuove metodologie ed a nuovi prodotti di restauro.

Ai fini della messa a punto e della valutazione suddetta occorrono dei modelli materici (malte, inerti, ma anche tipologie di alterazione) che non possiedono alcuna importanza dal punto di vista storico-artistico, i quali vengono sottoposti a stress meccanici e fisici (cicli di gelività, salature ecc.) di tipo distruttivo, al fine di verificarne la resistenza e gli effetti del degrado. In seguito ai risultati ottenuti con i test effettuati su tali materiali si procede a testarli su materiali di rilevanza storico-artistica.



Figura 3 - Mura Civiche di Viterbo: veduta dell'interno della muratura eseguita con la tecnica "a sacco"

Il consolidamento dei manufatti lapidei

Fra le operazioni di restauro che sono state citate qui si prende in esame il consolidamento dei materiali lapidei naturali e artificiali quale intervento particolarmente importante, tuttora aperto e oggetto di una nostra attuale sperimentazione. Allo scopo di consolidare le murature decoese fino ad oggi ci si è avvalsi anche di resine epossidiche, in soluzione o in emulsione, applicate ad iniezione. Queste però presentano notevoli controindicazioni: anzitutto l'eccesso di proprietà coesive, che possono provocare uno sbilanciamento strutturale della malta nonché occlusioni nella porosità naturale dei materiali. Una maggiore compatibilità è assicurata dall'impiego di consolidanti di natura minerale. Le motivazioni di questa specifica trattazione sono riconducibili non solo al fatto che ci si aspetterebbe - proprio in relazione al requisito della compatibilità fra prodotto e materiale - l'impiego di consolidanti di natura minerale, per manufatti di natura altrettanto minerale, quali sono i paramenti murari oggetto dell'intervento di consolidamento, ma anche all'infuosto impiego per numerosi anni di consolidanti cementizi. Questi, infatti, hanno causato gravi problematiche dal punto di vista strutturale, fisico e chimico, a seguito dell'interazione con i fattori ambientali e con i materiali originali, presentando caratteristiche e proprietà diverse e, quindi, risposte diverse rispetto a quelle dei manufatti (resistenza meccanica, resistenza alla corrosione, conduttività termica, coefficiente di dilatazione termica ecc.)

Le operazioni di consolidamento hanno lo scopo di:

- rinforzare la resistenza meccanica ricostituendo un appropriato grado di coesione;
- migliorare la resistenza all'acqua diretta e di condensa;
- ridurre la penetrazione di gas e vapori [9].

I materiali lapidei possono presentare decoesione e/o cattiva adesione^e, lesioni, dissesti, impoverimento dei giunti e quant'altro va a discapito della loro staticità nonché della conservazione. A tale proposito nelle Figure 1-5 sono mostrati alcuni esempi di degrado relativi ad alcuni paramenti lapidei costituenti due manufatti di interesse storico-artistico^f [10-11].

I materiali consolidanti

Fra le caratteristiche richieste ad un prodotto consolidante vi è, in particolare, una bassa viscosità, che renda possibile la penetrazione e la diffusione dello stesso all'interno della pietra, la quale può presentare idrorepellenza impedendo al consolidante di penetrare in profondità. Accanto alla suddetta caratteristica un buon consolidante deve essere in grado di interagire con la pietra per formare un insieme strutturalmente omogeneo con il materiale. Deve possedere, quindi, la capacità di rigenerare la struttura cristallina del materiale stesso, ridando coesione alle particelle costituenti le malte. Le murature possiedono, infatti, specie quelle antiche, malte depauperate le quali, conseguentemente a ciò, si presentano friabili. Ciò è particolarmente pericoloso considerata la vulnerabilità del patrimonio monumentale del nostro Paese in riferimento al

rischio sismico. Al fine di assicurare la staticità delle strutture e operare senza rischi, è necessario ricorrere al preconsolidamento per assicurare le parti pericolanti che altrimenti possono andare perdute nel corso dello svolgimento delle opere consolidanti. Il preconsolidamento prevede:

- la scarnitura dei giunti e il loro rinzafo con malta nuova compatibile;
- l'iniezione a bassa pressione della miscela legante, nel caso di murature spesse o "a sacco";
- la tecnica del "cuci e scuci" nel caso di macrofessurazioni.

Quest'ultima consiste nello smontare e sostituire i materiali maggiormente danneggiati, consentendo di ristabilire un equilibrio nella distribuzione dei carichi grazie all'eliminazione delle zone prive di capacità sostenitiva. Con tale procedimento però si eliminano dei materiali originali: è pertanto giusto definirli un'operazione di sostituzione più che di consolidamento [12]. Per quanto riguarda l'intervento di consolidamento vero e proprio, esso si avvale, oltre che delle tecniche utilizzate per preconsolidare, di:

- iniezioni di miscele leganti armate;
- reti elettrosaldate o polipropilene.

L'applicazione tramite iniezione prevede:

- la rimozione dello strato intonacato;
- la scarnitura dei giunti, i quali sono stuccati esternamente con malte impermeabilizzanti o prodotti siliconici;
- l'esecuzione di fori nelle murature all'interno dei quali applicare i tubetti per l'iniezione, prima di acqua o solventi per lavare e poi di consolidante.

In Tabella vengono mostrati, in un quadro sintetico, i prodotti consolidanti e, corrispondentemente, i materiali lapidei sui quali essi vengono impiegati. Nel caso di miscele leganti armate, sono applicate all'interno dei fori barre di acciaio. In relazione alle reti elettrosaldate, esse sono applicate sui due lati della muratura da consolidare e tenute da passanti che attraversano



Figura 4 - Veduta di un tratto di mura di Terra del Sole (Forlì): particolare rappresentativo della fitta vegetazione infestante la muratura

del silicato alcalino, determina la produzione di acido silicico che, polimerizzando, applica un'azione indurente. Per quanto riguarda invece un altro prodotto tradizionale, vale a dire il latte di calce, esso è costituito da una soluzione acquosa di idrossido di calcio $[Ca(OH)_2]$ che, per reazione aerea, dà carbonato di calcio $[CaCO_3]$, cioè un sale insolubile. Tale procedimento è impiegato soprattutto per ridare coesione a zone friabili, giunture, fessurazioni, con uno strato coeso poco profondo e permeabile. Questo è poi coperto con l'applicazione di un nuovo strato del suddetto "latte" con funzione isolante e protettiva. L'idrossido di bario $[Ba(OH)_2]$, secondo una reazione analoga a quella sopra descritta, si trasforma in carbonato di bario $[BaCO_3]$, che un tempo era considerato l'agente consolidante. Questa reazione però in alcuni casi, in presenza di tracce di solfato, crea anche solfato di bario $[BaSO_4]$.

Classi di prodotti consolidanti per i materiali lapidei (Normal 20/85)

<i>Consolidanti inorganici</i>	Silicati di etile (più sostanza idrorepellente)	Arenarie, laterizi, mattoni crudi
	Idrossido di bario	Calcari con discontinuità da risaldare non superiori a 50-100 μm
	Idrossido di calcio	
<i>Consolidanti organici</i>	Alchil-alcossi-silani (conferiscono anche idrorepellenza)	Arenarie, laterizi, mattoni crudi
	Alchil-aril-polisilossani (parzialmente o totalmente polimerizzati)	Laterizi, arenarie, marmi, calcari
	Resine acriliche (applicate come monomeri o polimeri)	Marmi, calcari compatti
	Miscele di resine acriliche e siliconiche	Marmi, calcari, arenarie

la struttura e la malta. Sono particolarmente utilizzate per le costruzioni a rischio sismico [13]. Per quanto riguarda i prodotti consolidanti, essi possono essere distinti schematicamente in due categorie: inorganici ed organici. I primi riducono la porosità dei materiali per mezzo della costituzione di un nuovo tessuto simile, per composizione e struttura, a quello originario della pietra; gli altri riducono sensibilmente la bagnabilità della pietra e possono renderla impermeabile (Tabella) [9, 12-14].

I prodotti consolidanti inorganici tradizionali sono:

- silicati alcalini;
- fluosilicati;
- latte di calce;
- idrossido di bario.

L'impiego dei silicati alcalini per il consolidamento dei materiali lapidei ha avuto inizio nella prima metà dell'Ottocento. Esso si basa sul fenomeno dell'idrolisi che, permettendo la scissione



Figura 5 - Mura di Terra del Sole: particolare dei conci sottoposti a degrado

I consolidanti organici sono:

- polimeri fluorurati (perfluoropolietteri, polifluorouretani, fluoroelastomeri, resine acriliche fluorurate);
- polimeri siliconici (resine silconiche idrorepellenti, consolidanti silconici, microemulsioni silconiche, etilsilicato);
- polimeri acrilici (copolimero etilmetacrilato-metilacrilato, copolimeri di resine acriliche e silconiche, resine acriliche in solventi o in emulsione acquosa);
- polimeri epossidici (leganti e adesivi epossidici) [9, 15-17].

La sperimentazione nel consolidamento dei materiali lapidei

Attualmente è in corso di svolgimento presso il Dipartimento uno studio sull'impiego dei silicati di etile come consolidanti dei materiali lapidei antichi e moderni con lo scopo di conoscere e valutare le conseguenze che l'impiego di tali prodotti apporta sui suddetti materiali. In particolare però la ricerca ha come scopo quello di testare l'efficacia dei consolidanti a matrice minerale sulle malte di allettamento decoese ai fini del consolidamento strutturale, dato che tali consolidanti sono stati impiegati finora eminentemente su intonaci. La ricerca prevede diverse fasi di lavoro: ad una fase preliminare, che tende a individuare, attraverso una ricerca bibliografica, i criteri da richiedere al prodotto e la tipologia di materiali cui deve indirizzarsi, seguono le fasi di allestimento e applicazione della ricerca, le quali sono fatte seguire dall'analisi, il controllo e il monitoraggio, nonché dall'ultima fase inerente alla valutazione e alla produzione dei risultati. Nell'ambito della suddetta indagine le variazioni oggetto di analisi si riferiscono ai seguenti parametri:

- colore;
- saturazione;
- morfologia superficiale;
- porosità;
- permeabilità;
- biodeteriorabilità.

I suddetti "indicatori" saranno misurati durante e a seguito dell'intervento, al fine di verificare quali, e di quale entità, siano i cambiamenti intervenuti a modifica di tali specifiche voci. Tali verifiche avranno lo scopo di testare la reale incidenza dei prodotti di restauro che possono essere reperiti in commercio: questi, come del resto qualunque prodotto di restauro, sono invasivi per i materiali^b e determinano delle variazioni che possono tradursi in alterazione o degradazione degli stessi. I materiali esaminati sono arenarie, marmi e calcari. Queste diverse tipologie materiche sono indagate in relazione a differenti stati di conservazione: compatti, semicoesi, estremamente decoesi, cioè si prendono così in esame materiali da stati conservativi discreti a stati di polveri incoerenti. I provini, dopo essere stati trattati con prodotti a base di estere etilico dell'acido silicico e a diversi stati di consolidamento, sono oggetto di indagini di verifica per mezzo delle seguenti strumentazioni diagnostiche:

- colorimetro a contatto;
- videomicroscopio con analisi di immagine;
- microscopio elettronico;
- spettrofotometro infrarosso.

Inoltre sono effettuate le prove di assorbimento, secondo le indicazioni contenute nel Normal, e le prove di resistenza all'abrasione. Come accennato, i materiali indagati sono dapprima pietra, breccia e sabbia calcarea e sabbia silicea, mentre in un secondo tempo saranno oggetto di sperimentazione frammenti di materiali provenienti da monumenti [18].

Considerazioni conclusive

La presentazione delle suddette problematiche evidenzia bene la complessità della situazione concernente la conservazione dei beni culturali e, in particolare, il consolidamento. Questi richiedono un approccio che investe molteplici aspetti che, nel rispetto dei criteri imposti a qualsiasi intervento attuato sui beni culturali, implicano la conoscenza teorica e pratica dei metodi e delle tecniche insieme con la conoscenza e la corretta applicazione dei prodotti sperimentati o da sperimentare. Risulta, quindi, di fondamentale importanza la interdisciplinarietà della ricerca, in grado di assicurare la valutazione oggettiva e un percorso conservativo corretto e completo.

Bibliografia

- [1] C. Brandi, Teoria del restauro, Einaudi, Torino, 1977.
- [2] S. Lorusso, B. Schippa, Metodologie scientifiche per lo studio dei beni culturali. Diagnosi e valutazione tecnico-economica, Bulzoni, Roma, 1992.
- [3] S. Lorusso *et al.*, La contaminazione ambientale ed il degrado dei materiali di interesse storico-artistico, Bulzoni, Roma, 1995.
- [4] S. Lorusso, Conservazione e trattamento dei materiali costituenti i beni culturali, Pitagora, Bologna, 2000.
- [5] S. Lorusso, La diagnostica per il controllo del sistema: manufatto-ambiente. Alcune applicazioni nel settore dei beni culturali, Pitagora, Bologna, 2002.
- [6] Carta del restauro del 1972, in Brandi C., op. cit., Allegato.
- [7] Istituto Centrale del Restauro, Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte e di cultura, Bonifica, Roma, 1987.
- [8] Istituto Centrale del Restauro, Cnr, Nor.Ma.L.: Normativa Materiali Lapedei.
- [9] C. Fiori *et al.*, Restauro, manutenzione, conservazione dei beni culturali: materiali, prodotti, tecniche, S. Lorusso, F. Prestileo (a cura di), Pitagora Editrice, Bologna, 2002, in corso di stampa.
- [10] S. Lorusso *et al.*, Valutazione quali-semiquantitativa dello stato di conservazione dei materiali lapidei costituenti manufatti di interesse architettonico e storico-artistico: alcuni casi di studio, Ocnus, 1999.
- [11] S. Lorusso *et al.*, Le mura civiche di Viterbo dalla costruzione alla salvaguardia nel tempo, Atti Seminario Internazionale su: "Il Comportamento Sismico del Patrimonio Costruito nei Piccoli Centri Storici", Assisi, 22-24 aprile 1999.
- [12] M. Bilancia, Le opere provvisorie, in G. Carbonara, Il Restauro Architettonico, Vol. III, Utet, 1997, Torino.
- [13] P. Ruschi, *ibid.*
- [14] S. Lorusso *et al.*, *Accademie e Biblioteche d'Italia*, 1994, 2, 61.
- [15] M. Matteini, Consolidanti e protettivi di natura minerale in uso sui manufatti di interesse artistico ed archeologico costituiti di materiali porosi, in Consolidanti e protettivi in uso sui materiali inorganici porosi di interesse artistico e archeologico, Atti del convegno, 25-27 febbraio 1999, Trento, Provincia Autonoma di Trento, 2000, 48.
- [16] G. Bonsanti, L'etica del restauro nelle superfici porose, in Arkos, Scienza e restauro, 7 (2/2002), Utet-periodici, Torino, 2002, 14.
- [17] G. Lanterna *et al.*, La facciata di Palazzo Vecchio: un intervento di straordinaria manutenzione, in OPD restau-

ro, n° 1, 1989, CentroDi Editore, Firenze, 1989, 37.

[18] C. Fiori *et al.*, Valutazione delle prestazioni dei silicati di etile per il consolidamento dei materiali lapidei, Congresso Internazionale "I silicati nella conservazione", Torino, 13-15 febbraio 2002.

Note

- a) La compatibilità fisico-chimica fra materiali e prodotti e/o fra materiali vecchi e nuovi è importante ai fini di un'efficace conservazione: le due Carte del restauro (1972 e 1987) e il Normal consigliano di usare solo prodotti già ampiamente sperimentati. Nel caso di prodotti e/o materiali non ancora sufficientemente testati, tale problematica può fare riferimento solo su osservazioni in termini statistici di applicazioni precedenti.
- b) I prodotti impiegati nel restauro, ove possibile, devono poter essere rimossi per essere sostituiti con altri nuovi: è il caso dei protettivi, mentre è impensabile rimuovere le sostanze consolidanti.
- c) L'efficacia di un prodotto di restauro consiste nella sua capacità di rispondere alle richieste legate alla conservazione nei tempi e nelle modalità previste.
- d) La pericolosità dei prodotti di restauro nei confronti degli operatori e dei fruitori è stabilita in "soglie" definite in parte per milione (ppm). Tale unità di misura è inversamente proporzionale al grado di pericolosità riscontrato nel prodotto, il quale può essere: nocivo, tossico, molto tossico. Nel caso di maggiore pericolosità, ad esempio, il prodotto sarà definito molto tossico e il valore di concentrazione, espresso in ppm, sarà molto basso.
- e) I materiali lapidei presentano una struttura cristallina che ne determina le proprietà meccaniche di resistenza. Tali materiali si definiscono decoesi quando presentano una struttura interna incoerente. I materiali decoesi sono trattati con i prodotti consolidanti, i quali svolgono la funzione di ridare coesione al tessuto strutturale interno del materiale, restituendogli le caratteristiche meccanico-fisiche che aveva perduto. Un materiale denuncia una cattiva adesione quando le varie parti, che compongono una struttura, ad esempio una parete, si presentano staccate fra loro, o meglio quando si evidenziano delle lacune interstiziali.
- f) Le Figure 1-3 mostrano le Mura Civiche (XI-XVI secolo) di Viterbo, in un tratto delle quali, nel gennaio del 1998, si è verificato un cedimento strutturale che ne ha determinato il crollo. Le indagini effettuate hanno evidenziato, fra le molteplici cause del crollo, un indebolimento della struttura muraria, a seguito di fattori di degrado di origine antropica, fisica e biologica (come la presenza di piante infestanti), oltre ad una non corretta manutenzione, che hanno provocato il dissesto delle murature. Le Figure 4-5 rappresentano la cinta muraria di Terra del Sole (Comune di Castrocaro Terme, Forlì), risalente al XVI secolo. Essa attualmente necessita di operazioni di restauro in riferimento ad un tratto di circa 100 metri. A tal riguardo sono in corso indagini analitiche allo scopo di caratterizzare i materiali costituenti e valutare lo stato di conservazione dell'intera cinta.