

*Giuseppe Giunta, Elisabetta Previde
Massara, Eleonora Di Paola
Dipartimento di Chimica Fisica
EniTecnologie
San Donato Milanese (MI)
Benigno Mörlin Visconti Castiglione
Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano
giuseppe.giunta@enitecnologie.eni.it*



Fig. 1 - Formella della Facciata del Duomo di Milano raffigurante i "Simboli dei 4 evangelisti"

LE VECCHIE STUCCATURE DELLA FACCIATA DEL DUOMO DI MILANO

Rilievo, diagnosi e restauro

Negli anni Settanta durante l'ultimo restauro della Facciata del Duomo di Milano sono state applicate delle stuccature: oggi si pone il problema se sia meglio rimuoverle o mantenerle.

Il presente articolo illustra la metodologia diagnostica seguita da EniTecnologie per supportare la Veneranda Fabbrica nell'intervento di restauro.

Dal 2002 è in corso l'intervento di manutenzione e restauro conservativo della Facciata del Duomo di Milano. EniTecnologie, corporate technology company di Eni, ha siglato un contratto di collaborazione con la Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano nell'ambito di tale intervento. Tra le diverse linee del progetto, l'articolo illustra lo studio del degrado e il restauro delle vecchie stuccature a base di resina epossidica.

Le stuccature sono state applicate negli anni Settanta durante l'ultimo restauro della Facciata e presentano diversi problemi di conservazione. Per questi motivi si è posta la questione se sia meglio rimuoverle o mantenerle. Sono stati presi in considerazione due fattori: uno di tipo cromatico, poiché negli anni le stuccature hanno

assunto un colore diverso rispetto al substrato marmoreo (Fig. 1, in apertura), e uno legato alla sicurezza del monumento, perché alcune di esse si sono staccate ed altre potrebbero farlo in futuro.

In particolare molte stuccature sono presenti sui 20 pannelli scultorei (formelle) raffiguranti scene bibliche (Fig. 1), alla base

Relazione presentata al convegno "La chimica aiuta l'arte", organizzato da Sci-Sez. Lombardia e Fast in occasione della fiera Rich-Mac, Milano, 4 ottobre 2005.

dei contrafforti e quindi molto visibili dal piano Sagrato (Fig. 2). Nelle Figure 3 e 4 si mostrano tipici esempi di degrado e distacchi. L'alto valore artistico delle sculture richiede un intervento mirato di restauro conservativo: dove non c'è rischio di distacco si cerca di mantenere le stuccature per evitare un danneggiamento della superficie marmorea durante la fase di rimozione delle stesse.

Per valutare lo stato d'adesione dei materiali è stata utilizzata la termografia ad infrarossi [1]. Per studiare la composizione e lo stato di degrado è stata effettuata l'analisi chimica *in situ* mediante spettrometria portatile XRF [2]. Per ottimizzare la formulazione dei prodotti per la velatura, infine, è stata utilizzata l'analisi micro-distruttiva SEM-EDX in laboratorio [3]. I risultati delle

indagini diagnostiche sono stati integrati all'interno di modelli vettoriali CAD ottenuti mediante fotogrammetria digitale speditiva Cyclop [4].

Fotogrammetria digitale speditiva

Il rilievo fotogrammetrico consente la ricostruzione tridimensionale di oggetti e superfici e la loro rappresentazione grafica in scala senza contatto fisico. La tecnica fornisce molti dati numerici dell'oggetto (coordinate geometriche e punti vettoriali), disegni (ortofotocarte) ed immagini (ortofotopiani). Recentemente è stata sviluppata una metodologia totalmente digitale per il rilievo di superfici ridotte (2-10 m²): la fotogrammetria digitale speditiva Cyclop™ (MenciSoftware) [4]. Il sistema è



Fig. 2 - La facciata del Duomo di Milano. Alla base dei sei contrafforti si notano i pannelli scultorei (formelle)



Fig. 3 - Esempio di distacco di una stuccatura da una statua



Fig. 4 - Esempio di scultura di una stuccatura su un rilievo marmoreo

costituito da una fotocamera digitale calibrata (orientamento interno), montata su una barra meccanica di supporto, che viene traslata rigidamente lungo la base. In questo modo le prese stereoscopiche sono prive di parallasse e facilmente sovrapponibili mediante un software specifico, anche su PC portatile *in situ*, permettendo la misura e la restituzione 3D dell'oggetto rilevato. Con la tecnica Cyclop sono stati rilevati e restituiti (in scala 1:10) i pannelli scultorei alla base dei contrafforti (Fig. 5). Il modello vettoriale CAD delle formelle è stato integrato con quello in scala 1:20 dell'intera Facciata, ottenuto da fotogrammetria digitale tradizionale. Il modello CAD permette di misurare e quantificare tutte le entità (distanze, aree e volumi) e costituisce la base della Banca Dati 3D integrata [5], in cui confluiscono i risultati delle analisi diagnostiche e delle operazioni di restauro descritte nei paragrafi precedenti.

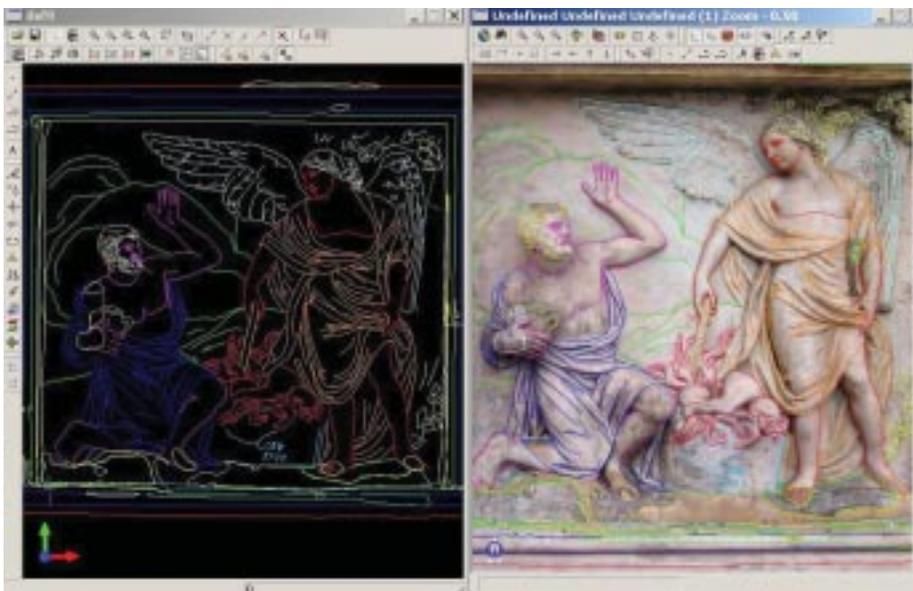


Fig. 5 - Restituzione stereoscopica tridimensionale in scala 1:20 della formella raffigurante "Elia e l'Angelo": modello vettoriale CAD (a sinistra) e sovrapposizione sul modello stereoscopico ottenuto mediante fotogrammetria digitale speditiva CyclopTM

Termografia

Questa tecnica fornisce una mappa termica della superficie investigata, rilevando la radiazione infrarossa emessa dal materiale. L'informazione proviene da una profondità di qualche centimetro e permette di rivelare situazioni critiche, tra cui la presenza di elementi strutturali nascosti, distacco d'intonaco, elementi metallici o ristagno d'umidità. Queste situazioni particolari sono identificate all'interno della mappa termica da regioni più fredde o più calde, secondo i casi, rispetto al fondo termico della porzione di oggetto investigata.

L'interpretazione del risultato dell'indagine termografica necessita della conoscenza delle caratteristiche di emissione, riflessione ed assorbimento dell'energia termica dei materiali in esame. Il parametro fisico di riferimento è il fattore di emissività, che, per i materiali architettonici più comuni, presenta valori molto vicini tra loro (tra 0,85 e 0,95). Per gli stucchi della Facciata del Duomo si è determinato un valore di 0,95; per il marmo di Condoggia, invece, può variare da 0,94 a 0,96 a seconda dello stato di degrado.

EniTecnologie ha utilizzato una termoca-

mera digitale ThermoCAM SC1000 di Inframetrics-FLIR, con ottica da 16° e risoluzione termica di 0,07 °C, per controllare lo stato di adesione delle stuccature (Fig.

6). Il criterio di valutazione scelto per discriminare la qualità degli stucchi è basato sulla differenza di risposta termica tra la superficie dello stucco e quello del substrato lapideo. I materiali sono caratterizzati da valori di emissività molto simili e quindi la risposta termica attesa, in condizioni di irraggiamento uniforme, è la medesima. Dopo riscaldamento artificiale della zona investigata mediante un sistema portatile ad aria calda, si registra la dinamica del raffreddamento termico della stessa zona; una stuccatura non adesa si raffredda più lentamente rispetto al substrato. Il distacco della stuccatura, perciò, viene evidenziato dalla presenza di una regione più calda (differenziale termico >1 °C) nella mappa termica (Fig. 7). L'analisi delle stuccature delle formelle ha evidenziato che circa il 50% ha una buona adesione al substrato lapideo.

I dati termografici sono stati riportati in maniera georeferenziata nel modello vettoriale della Facciata come *layer* tematici specifici (stuccature esistenti, stuccature rilevate, stuccature ben adese, stuccatu-



Fig. 6 - Termocamera in funzione sulle stuccature della Statua della Giustizia della Facciata del Duomo di Milano

re mediamente adese, stuccature con distacco). In questo modo sono state create mappe tematiche facilmente fruibili ed aggiornabili dalla Veneranda Fabbrica (Fig. 8).

Fluorescenza di raggi X

La spettrometria di fluorescenza di raggi X (XRF) portatile permette di effettuare l'analisi chimica in situ in modalità non distruttiva (Fig. 9). Si tratta di un'analisi chimica della superficie (per elementi con numero atomico $Z > 15$) fino a profondità di qualche micron. La tecnica XRF è utile per evidenziare la composizione di croste nere e rilevare residui di trattamenti di patinatura superficiale. Si basa sul principio che gli atomi irraggiati da raggi X a bassa energia (< 40 keV) emettono energia sotto forma di fluorescenza di raggi X. Questa energia è caratteristica per ogni elemento chimico e l'intensità è proporzionale alla concentrazione dell'elemento. Si tratta di un'analisi composizionale semi-quantitativa a causa della non rilevabilità degli elementi leggeri, degli effetti matrice e della non planarità della superficie analizzata.

EniTecnologie ha utilizzato uno spettrometro XRF portatile (EIS, Roma) comandato da un PC portatile e dotato di due generatori di raggi X intercambiabili con anodo di Pd e W, un rivelatore SDD (risoluzione 136 eV a 6 keV) e una telecamera Sony USB WebCam per selezionare e fotografare il

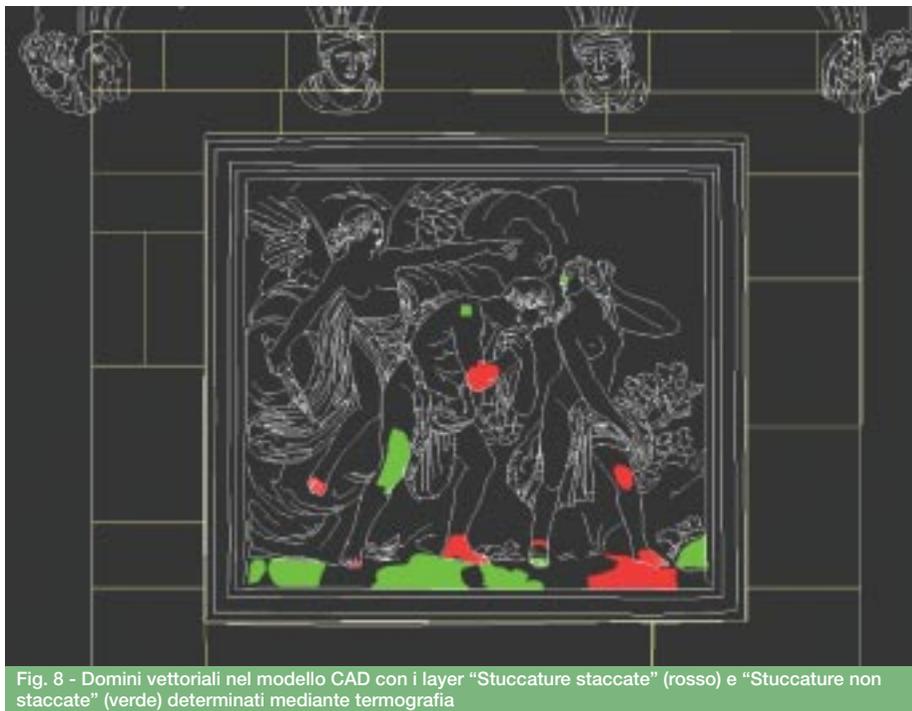


Fig. 8 - Domini vettoriali nel modello CAD con i layer "Stuccature staccate" (rosso) e "Stuccature non staccate" (verde) determinati mediante termografia

punto di misura. Poiché sono state analizzate superfici eterogenee e talvolta con elevato grado di rugosità, la spettrometria XRF *in situ* viene utilizzata come analisi comparativa per la presenza o meno di determinati elementi chimici. Alcuni elementi chimici sono caratteristici di fenomeni di degrado o di trattamenti superficiali. Lo zolfo è indice della presenza di gesso e quindi del processo di solfatazione del marmo. In funzione delle concentrazioni di S è stato possibile definire un livello di degrado del marmo (assente, basso, medio-alto, alto-altissimo).

In alcuni punti delle formelle è stata rilevata un'alta concentrazione di Ti che è stata attribuita ai residui di vecchie patinature. Il biossido di titanio è un pigmento bianco molto comune in trattamenti di velatura.

Tutti i risultati delle analisi XRF sono stati inseriti in maniera georeferenziata nel modello 3D della Facciata, all'interno di

schede tecniche che possono essere consultate e aggiornate direttamente nel modello stesso (Fig. 10).

Microscopia elettronica e microanalisi

Da fonti storiche della Veneranda Fabbrica è noto che gli stucchi applicati negli anni Settanta sono composti da resina epossidica con l'aggiunta di quarzo e silicati come fasi inerti.

Per la caratterizzazione chimico-fisica delle stuccature sono state effettuate analisi in laboratorio mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) accoppiata a microanalisi EDX, microscopia ottica (MO), spettroscopia FTIR e analisi termogravimetrica (TGA). La microscopia SEM è una tecnica micro-distruttiva che permette di effettuare una caratterizzazione morfologico-composizionale a livello microscopico. EniTecnologie ha utilizzato un microscopio JEOL JSM-840 accoppiato ad un sistema micro-analitico EDX Oxford Link ISIS serie 300. L'utilizzo di elettroni retrodiffusi (BackScattered Electrons) permette di

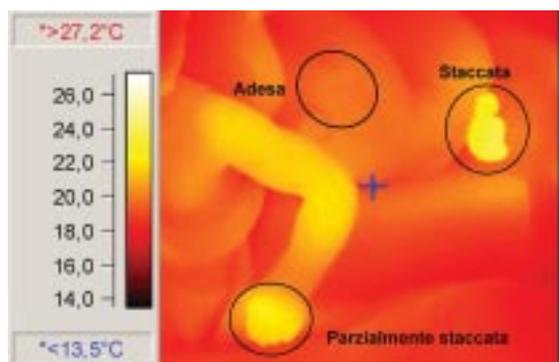


Fig. 7 - Mappa termica di un particolare della formella raffigurante i "Simboli dei 4 Evangelisti"; le regioni più calde (in giallo) evidenziano la presenza di un distacco



Fig. 9 - Spettrometro XRF portatile in funzione su una stuccatura di una formella

ottenere delle micrografie in cui i toni di grigio sono proporzionali al numero atomico medio del punto investigato, evidenziando situazioni composizionali differenti. Un esempio è mostrato in Figura 11. La parte scura rappresenta la matrice organica (resina epossidica) mentre le parti più chiare rappresentano gli inerti silicatici.

Dopo l'intervento di pulitura JOS sono stati prelevati dei micro-campioni per valutare

l'efficacia della tecnica e verificare eventuali alterazioni morfologiche o composizionali. È stato riscontrato che il metodo di pulitura, utilizzato su tutta la Facciata del Duomo, ha significativamente pulito la superficie degli stucchi senza modificarne la composizione chimica.

Inoltre si è reso necessario un trattamento di velatura degli stucchi per uniformare il colore a quello del substrato marmoreo.

Tra le varie tipologie di prodotti in commercio, si è scelta una pittura a base di silicati di potassio, che ha una maggiore affinità con la componente inorganica dello stucco. Le analisi SEM-EDX hanno evidenziato un'ottima adesione dello strato di pittura al substrato e la capacità di penetrare nelle microfessure del substrato resinoso (Fig. 12). Successivamente sono state analizzate le stuccature patinate esposte agli agenti atmosferici in Facciata: dopo un anno, l'adesione dello strato è molto buona grazie all'affinità chimica dei materiali.

La banca dati 3D

I principi alla base della creazione della banca dati tridimensionale sono stati l'integrazione, la multidisciplinarietà e la fruibilità software [5]. Per questi motivi i dati diagnostici (XRF, termografia, SEM-EDX ecc.), le informazioni storico-artistiche, la documentazione delle operazioni di restauro e monitoraggio post-restauro vengono inseriti nello stesso modello vettoriale in maniera georeferenziata. L'inserimento dei dati avviene mediante sia note di testo (documenti word, excel ed immagini) sia mediante la creazione di *layer* vettoriali specifici. La gestione mediante *layer* è particolarmente utile per creare delle mappe tematiche facilmente consultabili. Per rendere più fruibile la banca dati, sono state inserite delle specifiche funzioni software (applicativi AutoCAD 2002) che permettono di disegnare gli oggetti 3D con polilinee chiuse e di inserire, consultare o aggiornare note di testo. La banca dati è continuamente aggiornata sia da EniTecnologie che dalla

Bibliografia

- | | |
|--|--|
| <p>[1] G. Giunta <i>et al.</i>, Proc. of SPIE 10th Inter. Sym. Remote Sensing, Barcellona, 8-12 settembre 2003, Paper 5239-44.</p> <p>[2] G. Giunta <i>et al.</i>, Proc. of 7th Intern. Conf. on non-destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostic and Conservation of the cultural and environmental heritage, Antwerp, 2-6 giugno 2002.</p> | <p>[3] E. Previde Massara <i>et al.</i>, Atti della Conferenza Internazionale "Quarry-Laboratory-Monument", Pavia, 26-30 settembre 2000, G. Calvi, U. Zezza (Eds.), vol. 1, 469.</p> <p>[4] L. Menci <i>et al.</i>, Atti del 4° congresso ASITA, Genova, 3-6 ottobre 2001, Vol. 2, 1087.</p> <p>[5] G. Giunta <i>et al.</i>, Proc. of XX Int. Symp. "International Cooperation to save the World's Cultural Heritage" CIPA 2005, Torino, 26 settembre - 1 ottobre 2005, 3.</p> |
|--|--|

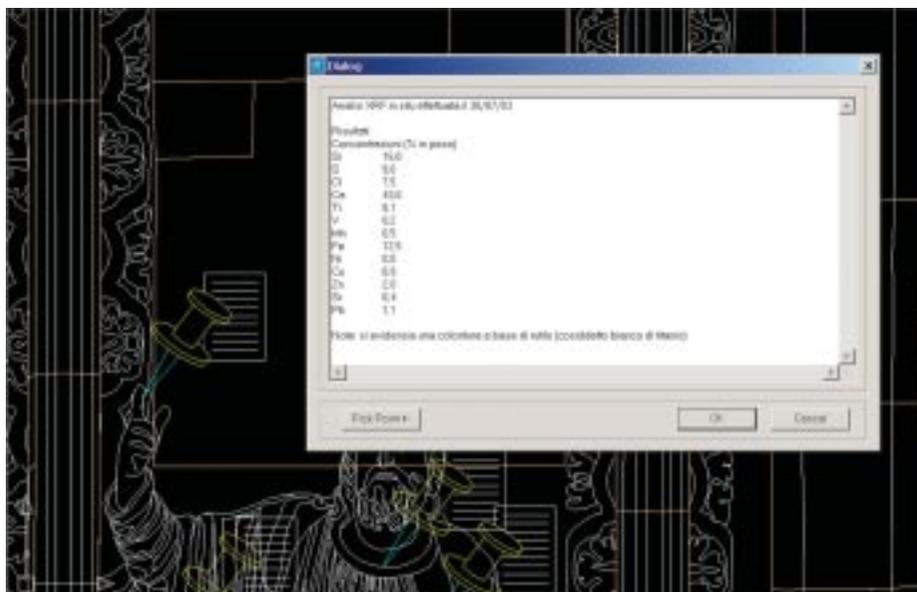


Fig. 10 - Consultazione di una scheda tecnica contenente l'analisi chimica determinata mediante spettrometria XRF portatile

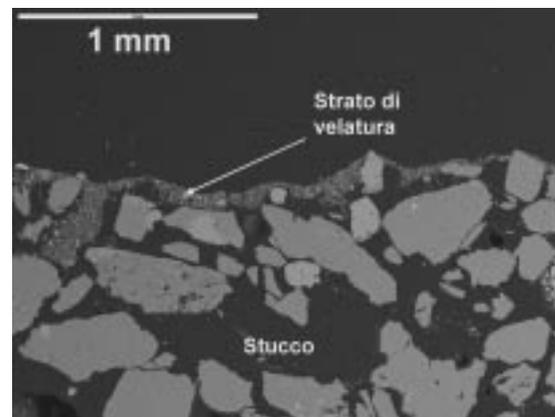


Fig. 12 - Micrografia SEM/BSE di un campione di stucco trattato con una pittura ai silicati, in cui si evidenzia (freccia) come lo strato di velatura sia penetrato nel substrato resinoso in presenza di fratture

Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano con l'avanzamento delle attività di restauro.

Considerazioni conclusive

EniTecnologie ha sviluppato una metodologia diagnostica per supportare la Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano nelle attività di restauro della Facciata. Ciò ha permesso sia di individuare in modo mirato le stuccature di resina epossidica da rimuovere sia di ottimizzare i materiali per la velatura delle stuccature da mantenere. Allo scopo sono state studiate pitture a base di silicati di potassio, per la loro affinità chimica con la componente inorganica degli stucchi.

Il rilievo fotogrammetrico digitale seguito dalla restituzione vettoriale CAD ha permesso di realizzare una banca dati 3D, che integra su base geometrica i risultati diagnostici e costituisce un valido supporto documentale alle attività di restauro.

Ringraziamenti: Si ringrazia MenciSoftware per la collaborazione.

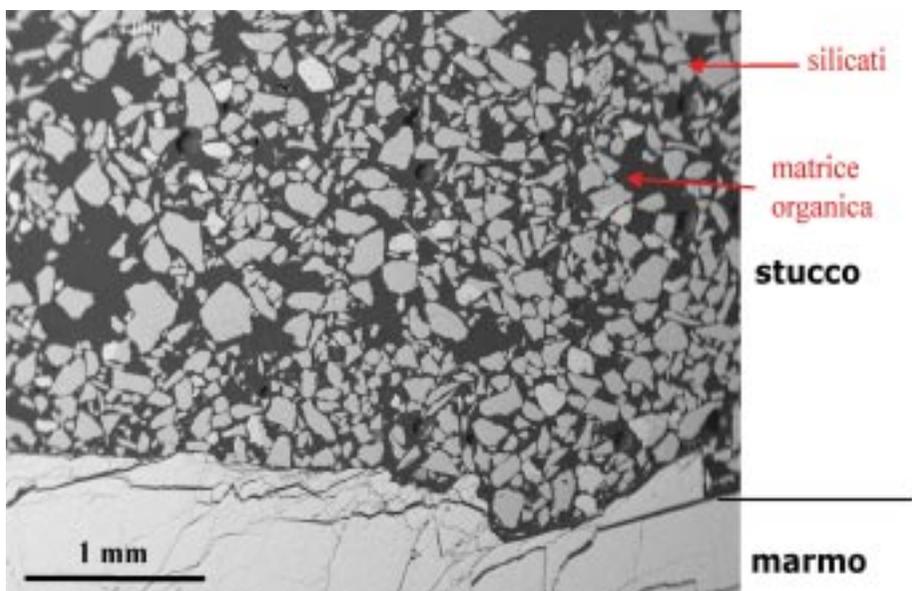


Fig. 11 - Micrografia SEM/BSE di un campione di stucco prelevato da una formella della Facciata del Duomo di Milano

The Old Stuccoes of the Milan's Cathedral Façade. Survey, Diagnosis and Restoration

During the last restoration of the Milan's Cathedral Façade in the Seventies several stuccoes were applied. Nowadays the Veneranda Fabbrica needs to decide if it is better to maintain or remove them. Both aesthetic and security aspects must be considered. EniTecnologie applied advanced non destructive techniques to study the state of conservation and the decay of the stuccoes, to decide which ones are best removed and how to conserve the other ones. In particular, infrared thermography and X-Ray Fluorescence were applied.

ABSTRACT 