©Ministero per beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte

MARIO MICHELI

LA RADIOGRAFIA NEL CONTROLLO DEI MATERIALI LAPIDEI

Introduzione

Le scienze della conservazione rivolgono un interesse sempre maggiore verso la macrostruttura dei manufatti, non solamente al fine di connotarne lo stato, ma soprattutto per poterne comprendere e controllare il comportamento.

Il rilevamento delle eterogeneità subsuperficiali dei manufatti può essere condotto essenzialmente mediante tre metodologie di indagine non distruttive: la radiografia, la termografia, gli ultrasuoni. Tali metodologie apportano contributi diagnostici differenti che, nel caso di situazioni complesse, possono rivelarsi tutti necessari.

Lo scopo di questo lavoro consiste nella definizione dei principali criteri che regolano l'applicazione della metodologia radiografica allo studio dei materiali lapidei.

I dati che possono essere ottenuti mediante tale indagine sono tutti in relazione ad eterogeneità di massa (differenze di spessore, lesioni) e della natura dei materiali costitutivi (metalli presenti nei vincoli).

Le conformazioni con spessore estremamente variabile e valori massimi elevati, frequenti tra i manufatti lapidei di interesse storico–artistico, pongono particolari problemi al metodo in esame.

Caratteristiche del metodo

Per ottenere l'immagine radiografica di un corpo, questo deve essere penetrato da un fascio di radiazione X o γ al fine di ottenere, dopo il suo attraversamento, la cosiddetta " immagine radiante ", cioè un indebolimento locale del fascio emergente dovuto ad un assorbimento differenziato dell'irraggiamento da parte del manufatto. L'immagine radiante, proiettata su una pellicola fotosensibile, produce l'immagine latente che, dopo il trattamento di sviluppo, si trasforma in immagine visibile.

L'assorbimento e quindi l'attenuazione di un fascio di radiazione X o γ è il risultato di alcuni fenomeni che si verificano nella interazione con la materia: effetto fotoelettrico, *scattering* o diffusione, produzione di coppie. [1] Tra questi fenomeni la diffusione, cioè la deviazione dei fotoni dalla loro traiettoria originaria, ha un'importanza notevole nella radiografia dei materiali lapidei, a causa delle notevoli masse che spesso devono essere esaminate. [2] I fenomeni di diffusione producono un irraggiamento secondario che impressiona il film radiografico, disturbando la nitidezza dell'immagine; con energie elevate si ha una riduzione notevole dello *scattering*.

Una riduzione dello spessore del manufatto, la presenza di una cavità o di una lesione si traducono in un corrispondente minore assorbimento. Altresì la presenza di un materiale con numero atomico più elevato rispetto al corpo circostante causerà un assorbimento locale maggiore.

In una scala di assorbimento delle radiazioni ionizzanti relativa ai materiali più comuni, le pietre sono collocate tra il ferro e l'alluminio. [3]

Il potere di penetrazione delle radiazioni ionizzanti aumenta con il crescere della energia che le caratterizza e poichè la estensione di spessori normalmente presente sui manufatti è ampia, sarà necessario impiegare diverse sorgenti di radiazione.

Medie energie: normalmente le macchine radiogene con tensione al tubo regolabile fino a 350 Kv possono essere impiegate per spessori non superiori a 15 cm.

Gammagrafia: la gammagrafia utilizza come sorgente radioisotopi caratterizzati da emissione gamma. L'energia dell'irraggiamento non è regolabile ma dipende dalla natura della sorgente. [4]

La tecnica gammagrafica, pur necessitando di provvedimenti protezionistici complessi, può essere utilizzata anche sul campo. La qualità delle immagini prodotte con radiazioni gamma è caratterizzata da un contrasto inferiore rispetto a quello prodotto dall'irraggiamento X.

Alte energie X: l'acceleratore lineare è una speciale macchina radiogena che produce emissioni di alcuni milioni di elettronvolt (MeV) con un flusso ad altissima dose. Con queste sorgenti è possibile utilizzare materiali sensibili a grana finissima, elevando quindi il contrasto radiologico; inoltre vengono impiegate considerevoli distanze tra il fuoco dello strumento ed il film, ottenendo quindi un'elevata correttezza geometrica e dimensionale delle informazioni. Inoltre queste emissioni fortemente energetiche producono radiogrammi caratterizzati da una notevole latitudine di spessori rilevati in una stessa esposizione.

Problemi diagnostici

Le caratteristiche strutturali dei materiali lapidei che possono essere in parte chiarite mediante l'indagine radiografica sono: i sistemi di vincolo e le lesioni.

Per la connotazione dei vincoli, quasi sempre localizzabili con una osservazione diretta, è necessaria una indagine radiografica " a *spot* " articolata, laddove è possibile, nelle diverse proiezioni della parte da indagare, al fine di poter descrivere in maniera tridimensionale l'andamento dei fori, dei perni e di qualsiasi altro corpo si trovi all'interno del manufatto (*figg.* 1–4).

Nel rilevare i dati radiologici è necessario tenere conto del loro ingrandimento per effetto di proiezione.

Per quanto riguarda la ricerca e la connotazione delle lesioni è necessaria l'indagine integrale del manufatto.

©Ministero per beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte

1

Un esempio di indagine radiografica: la Madonna con Bambino della Maestà del Duomo di Orvieto

Scopo dell'indagine era la definizione degli antichi interventi di assemblaggio di frammenti originali o di parti ricostruite ed il rilevamento di eventuali danni meccanici nella struttura.

L'esame è stato eseguito presso la Società Terni [5] e sono stati utilizzati i seguenti impianti:

– medie energie, macchina radiogena Gilardoni 350 Kv 6–12 mA;

– alte energie, acceleratore lineare Varian tipo Linatron 1500 R/min. con potenza di 7.5 MeV (*figg.* 5 e 6).

Sono stati impiegati film radiografici Kodak Industrex M ed R.

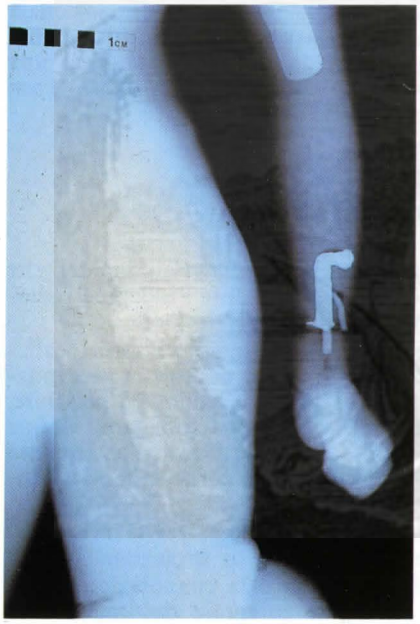
Nelle aree esaminate si supponeva la presenza di vincoli (arti superiori ed inferiori del Bambino e mano sinistra della Madonna). In alcune situazioni dove erano presenti materiali diversi (pietra, piombo, ferro) sono state impiegate entrambe le fonti di energia per raccogliere il

1 – ROMA, MUSEI CAPITOLINI – ERCOLE

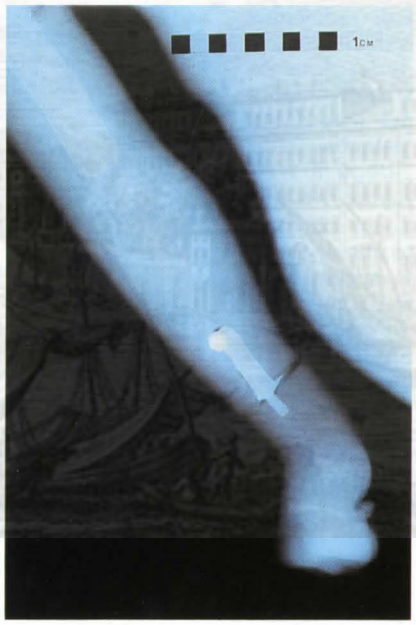
2 – RADIOGRAFIA DEL BRACCIO DESTRO DELL'ERCOLE, PROIEZIONE POSTERO–ANTERIORE
È visibile il vincolo del polso, costituito da un perno di ferro inglobato da piombo colato; inoltre sono parzialmente visibili i perni dei giunti della spalla e del ginocchio.

3 – RADIOGRAFIA DEL BRACCIO DESTRO DELL'ERCOLE, PROIEZIONE ANTERO–POSTERIORE
Si nota l'andamento lievemente eccentrico del vincolo del polso.

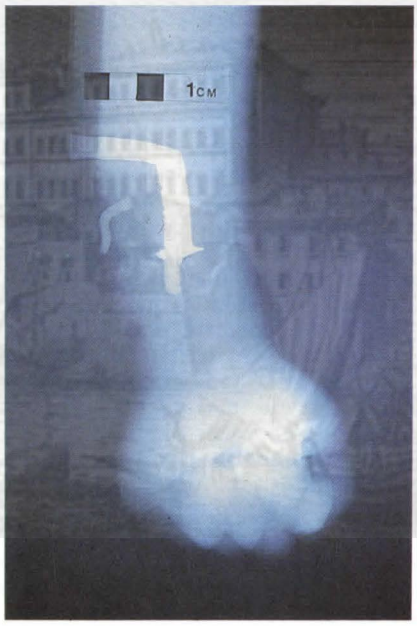
4 – RADIOGRAFIA DEL BRACCIO DESTRO DELL'ERCOLE, PROIEZIONE LATERALE DX–SX, PARTICOLARE
Si nota la mancanza di penetrazione del piombo nella parte inferiore del foro; inoltre è visibile un elemento metallico che trattiene una integrazione di una lacuna.



2

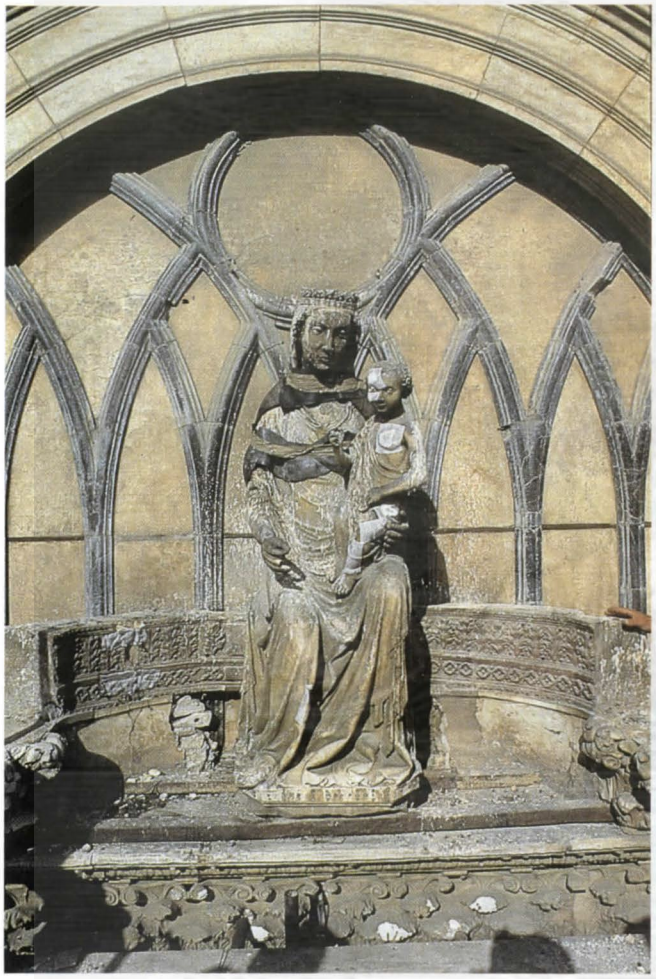


3

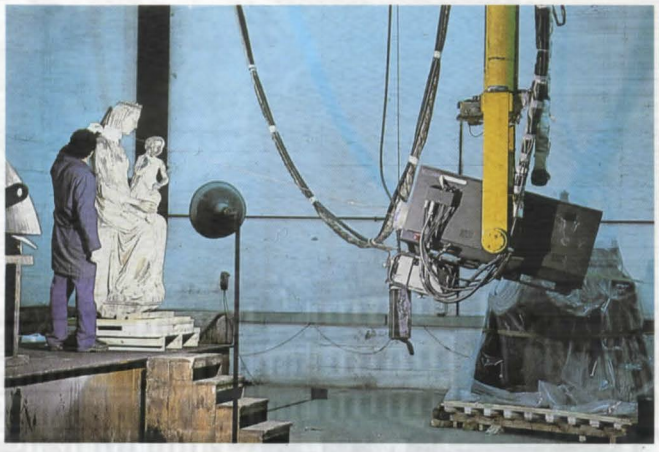


4

©Ministero per beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte



5 – ORVIETO, DUOMO – MADONNA CON BAMBINO



6 – TERNI, BUNKER DEL REPARTO CALDARERIE E CONDOTTE FORZATE DELLA SOCIETÀ TERNI
È visibile l'acceleratore lineare Varian installato in coppia con una apparecchiatura radiologica Gilardoni a media energia. L'operatore compie il puntamento dello strumento.

7 – ORVIETO, DUOMO – MADONNA CON BAMBINO PARTICOLARE DEL BRACCIO SINISTRO DELLA MADONNA

massimo delle informazioni ed è stato verificato lo stato strutturale dei perni, il grado di riempimento e la forma dei fori (*figg.* 7–12).

Nella regione dell'addome della Madonna sono state rilevate numerose lesioni sottili a fasci multipli, mediante irraggiamento con acceleratore lineare (*fig.* 13). Numerose lesioni sono state identificate nella mano sinistra della Madonna mediante l'impiego di medie energie (*fig.* 14).

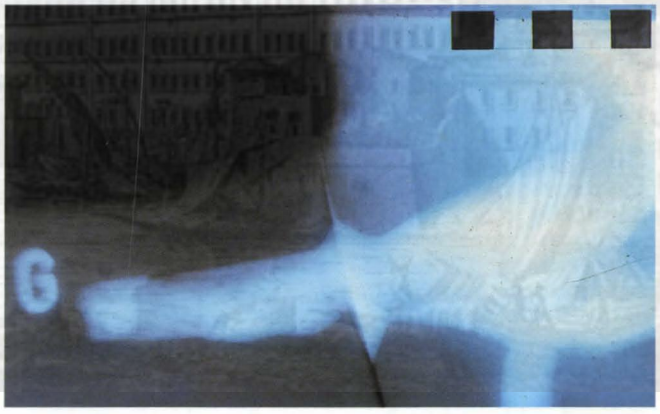
Conclusioni

I manufatti di materiale lapideo possono essere caratterizzati per quanto riguarda le principali eterogeneità macrostrutturali mediante il metodo radiografico.

I maggiori problemi diagnostici tuttora aperti sono senz'altro quelli posti dalla interpretazione qualitativa e quantitativa delle lesioni rilevate radiologicamente.

Maggio 1985

L'autore desidera ringraziare il Soprintendente per i Beni A.A.A.S. dell'Umbria arch. Domenico Valentino, la dott.ssa Giusi Testa e la Società Terni per aver reso possibile l'esecuzione della indagine radiografica sulla 'Madonna con Bambino' della Maestà del Duomo di Orvieto.



8 – RADIOGRAFIA DEL BRACCIO SINISTRO DELLA MADONNA ESEGUITA CON MEDIE ENERGIE
È mostrato il perno di ferro inglobato da piombo fuso.

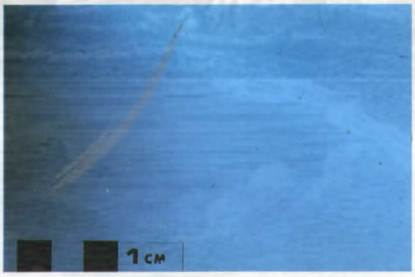
©Ministero per beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte

9

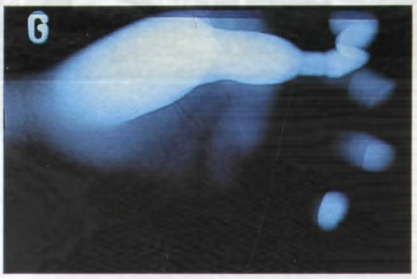
10

11

12



13



14

9 – PARTICOLARE RADIOGRAFICO DEL VINCOLO DEL BRACCIO SINISTRO DELLA MADONNA
Il canale per la colata del piombo nel vincolo è stato radiografato con alte energie; sono evidenti le disomogeneità del piombo.

10 – ORVIETO, DUOMO – MADONNA CON BAMBINO, PARTICOLARE

11 – RADIOGRAFIA DEL BUSTO DEL BAMBINO ESEGUITA CON ALTE ENERGIE, PROIEZIONE POSTERO ANTERIORE
È evidente la grande latitudine di spessori rilevati e la scarsa entità dei fenomeni di diffusione.

12 – RADIOGRAFIA CON PARTICOLARE DEL PERNO DEL GIUNTO SPALLA–BRACCIO SINISTRO DEL BAMBINO
Si nota una discontinuità a carico del perno, probabilmente legata alla lavorazione, inoltre è ben definito il profilo irregolare del foro ed il suo apice.

13 – RADIOGRAFIA DELL'AREA DELL'ADDOME DELLA MADONNA, ALTE ENERGIE, PROIEZIONE POSTERO–ANTERIORE
Sono evidenti lesioni a fasci multipli, probabilmente poste in prevalenza verso la faccia anteriore. Lo spessore in questa area è di 30–35 cm.

14 – RADIOGRAFIA DELLA MANO SINISTRA DELLA MADONNA, MEDIE ENERGIE
Sono evidenti le numerose lesioni concentrate nel palmo della mano e nel polso.

1) AA.VV., *Le prove non distruttive*, presentate dall'A.I.M., Milano 1965, pp. 304–306.

2) L. Runkiewicz afferma circa l'influenza della radiazione diffusa nella indagine radiografica del calcestruzzo "...the concrete thickness more than 10 cm/ for gamma radiation/ and from 15 to 20 cm/ for X ray radiation/ scattered radiation has important influence". L. Runkiewicz, *Application of the Radiographical Testing for Control of Building Constructions of Concrete in Poland*, in *Atti della 3rd European Conference on Nondestructive Testing, Roma 1984*, Roma 1985, vol. I, pp. 142–153.

3) G. M. Corney, *Radiography of "La Pietà"*, in *Medical Radiography and Photography*, 1965, vol. 41, n. 1.

4) Le sorgenti utilizzate comunemente nella gammagrafia di materiali ad elevato spessore o densità sono: il Cobalto 60 (1.17-1.33 MeV) e l'Iridio 192 (0.31–0.47–0.6 MeV) da AA. VV., *Le prove non distruttive..., cit.*

5) L'indagine, coordinata dall'autore, in collaborazione con l'ing. F. Tomarelli ed il sig. M. Latini della Società Terni, è stata eseguita presso il reparto Caldarerie e Condotte forzate.