

Ion Beam Analysis per i Beni Culturali

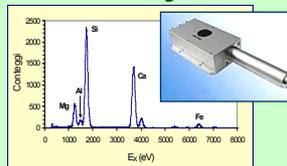
Tecniche di Ion Beam Analysis (IBA)

Le tecniche IBA consentono di analizzare la composizione di un materiale, utilizzandolo come bersaglio per un fascio di particelle cariche prodotte da un acceleratore (tipicamente protoni). In seguito all'interazione con le particelle del fascio, gli atomi e i nuclei del materiale emettono radiazione di energia caratteristica della specie atomica o isotopica. Rivelando quindi tale radiazione, è possibile riconoscere e quantificare gli elementi presenti nel materiale, cioè determinarne la composizione.



Fascio di particelle

Rivelazione della radiazione e analisi in energia



Radiazione di energia caratteristica (raggi X, raggi gamma, particelle...)

Perchè è utile l'analisi dei materiali in campo archeometrico?

"conoscere per sapere":

- ricavare informazioni su una singola opera, conoscere le tecniche specifiche impiegate da un artista
- effettuare datazioni indirette, attribuzioni, autenticazioni (o scoperta di falsi)
- ricavare informazioni storiche per ricostruire le tecnologie disponibili nei tempi passati, le fonti di approvvigionamento delle materie prime, gli scambi economici e culturali fra diverse popolazioni...

Conoscere la composizione dei materiali di un'opera d'arte o di interesse storico è fondamentale, per diversi scopi:

"conoscere per intervenire":

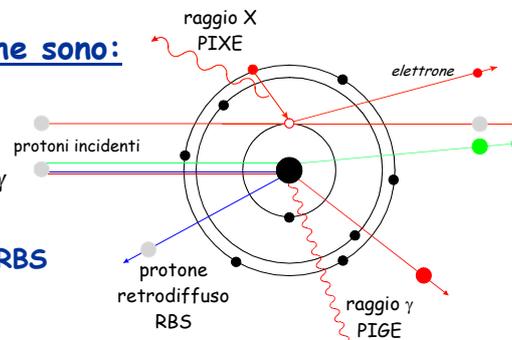
- controllare i processi di degrado
- aiutare gli esperti nella scelta di tecniche e materiali di restauro compatibili e reversibili, e di appropriate condizioni di conservazione

All'interno delle IBA si distinguono varie tecniche, che sfruttano per l'analisi diversi tipi di radiazione indotta da diversi processi fisici.

Le tecniche IBA più utilizzate per analisi archeometriche sono:

- ✓ **PIXE** (Particle Induced X-ray Emission) → si rivelano i raggi X emessi dagli atomi
- ✓ **PIGE** (Particle Induced Gamma-ray Emission) → si rivelano i raggi γ emessi dai nuclei

In alcuni casi possono aggiungere informazioni utili anche le tecniche **RBS** (Rutherford Backscattering Spectrometry → si rivelano le particelle incidenti "retrodiffuse" dai nuclei) e **IBIL** (Ion Beam Induced Luminescence → si rivela radiazione emessa nel visibile).



- ▶ L'analisi è tipicamente "in esterno": può essere realizzata estraendo il fascio dalle linee di vuoto in aria, permettendo di mantenere quindi il campione da analizzare in atmosfera.
- ▶ Il fascio esterno e la possibilità di usare correnti di fascio estremamente basse, le rende tecniche totalmente **non invasive e non distruttive** → consentono l'analisi di un'opera d'arte senza effettuare prelievi e senza arrecare alcun danno.

Caratteristiche dell'analisi PIXE

- ❖ Analisi multi-elementale, rapida e quantitativa → in misure di pochi minuti è possibile identificare e quantificare tutti gli elementi presenti, a partire dal sodio
- ❖ Si ricavano informazioni sugli elementi chimici in quanto tali e non sui composti
- ❖ Sono sufficienti deboli intensità di fascio (a partire da poche decine di pA) per caratterizzare il materiale anche per quanto riguarda gli elementi minoritari
- ❖ Analisi di superficie → lo spessore investigato va da qualche micron a qualche decina di micron (vedi riquadro sul retro)
- ❖ Analisi "per punti" (tipica dimensione del fascio $100 \mu\text{m} \div 1 \text{mm}$) o "a scansione" (con fasci anche più piccoli) - vedi riquadro sul retro

Ion Beam Analysis per i Beni Culturali

PIGE - Sfruttando un diverso tipo di interazione con il materiale, la PIGE permette in molti casi di ricavare informazioni "complementari" alla PIXE per quanto riguarda gli elementi leggeri. Ad esempio:

- ❖ Si possono rivelare elementi più leggeri del sodio (fluoro, litio, boro...), non "visibili" con la PIXE
- ❖ Si possono rivelare sodio, alluminio, silicio... anche da strati più profondi (vedi riquadro a lato)

RBS - permette di identificare anche C, O, N e di misurare profili di concentrazione. Servono però correnti di fascio più alte, e per questo non può essere impiegata su tutti i materiali.

Al LABEC, per l'analisi dei Beni Culturali, disponiamo anche della strumentazione necessaria per sfruttare due "varianti" dell'analisi PIXE tradizionale, che offrono notevoli vantaggi per l'analisi delle opere più complesse: la PIXE differenziale e l'analisi a scansione.

PIXE differenziale

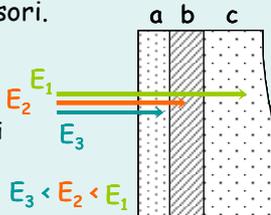
Consente di effettuare analisi stratigrafiche senza prelievi, realizzando, su una stessa area, misure PIXE con fasci di diverse energie.

E' una tecnica di grande utilità per l'analisi di dipinti.

Sfruttando la diversa profondità raggiunta da protoni di energia diversa, è possibile avere indicazioni sulla disposizione degli elementi nei vari strati che compongono l'oggetto, ottenendo in certi casi stime degli spessori.

Ad esempio:

- con un fascio di energia E_1 si rivelano elementi che possono appartenere a tutti e tre gli strati a, b, c;
- con E_2 , si riveleranno solo quelli dallo strato a e dallo strato b;
- all'energia E_3 ciò che si rivela può derivare solo dallo strato a.



Spessore investigato

La profondità di penetrazione di protoni in un materiale dipende dall'energia del fascio e dalla composizione del materiale. Per energie di qualche MeV, l'ordine di grandezza è di qualche decina di micron.

Si deve però considerare che la radiazione prodotta più in profondità, per "uscire" e essere rivelata, deve attraversare un certo spessore di materiale. Quando essa viene completamente assorbita (effetti di auto-assorbimento), non è possibile ottenere informazioni sull'elemento che l'ha emessa.

- ✗ raggi X di bassa energia (tipici di elementi leggeri) possono essere rivelati solo dagli strati più superficiali → spessore investigato ~ pochi micron
- ✗ raggi X di più alta energia (elementi medio-pesanti) possono essere rivelati anche da strati più profondi
- ✗ i raggi γ (emessi solo dai nuclei più leggeri) hanno energie così alte da non subire effetti di assorbimento

Analisi a scansione

Con fasci di dimensioni $10 \div 100 \mu\text{m}$, è possibile sfruttare la facility di microfascio a scansione per realizzare *imaging* composizionale.

Eseguendo una scansione con il fascio sulla superficie dell'oggetto è possibile non solo identificare gli elementi presenti, ma anche ricostruirne la distribuzione spaziale sull'area analizzata, grazie al fatto che per ogni "evento" rivelato (raggio X, γ , etc...) viene acquisita sia l'energia che la posizione (x,y). Si possono quindi ricostruire vere e proprie mappe di composizione.

Poter ricavare informazioni "per immagini" è di estrema utilità per una conoscenza più diretta e consapevole di materiali eterogenei come è quasi sempre per i Beni Culturali.

Per quali materiali e manufatti sono utili le IBA?

Dipinti su tavola e tela

Ecco qualche esempio di opere analizzate al LABEC...



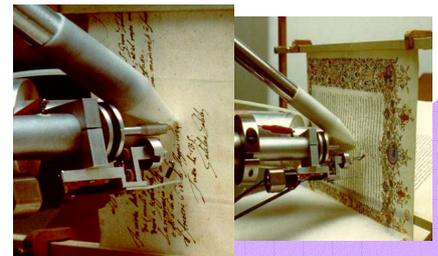
Disegni su carta preparata

Filati "metallici"



Tessere musive di pasta vitrea

Inchiostri e miniature in antichi manoscritti e documenti storici



Manufatti in pietre dure



INFN - Sezione di Firenze
Via Bruno Rossi 1
50019 Sesto Fiorentino (Fi)

