

Tecniche di diagnostica per i beni culturali: applicazioni della spettroscopia infrarossa allo studio delle sezioni stratigrafiche di un'opera d'arte.



Mariangela Cestelli Guidi
Sinbad IR beamline @ DaΦne

Obiettivi dell'indagine scientifica

- ✓ Analisi dei materiali costitutivi e della tecnica di esecuzione
- ✓ Datazione e autenticazione
- ✓ Accertamento stato di conservazione dell'opera
- ✓ Accertamento di eventuali restauri precedenti
- ✓ Scelta di nuovi materiali per il restauro
- ✓ Controllo degli interventi conservativi
- ✓ Conservazione preventiva

Analisi dei materiali costitutivi e della tecnica di esecuzione



1. Quali sono i pigmenti usati dall'artista?
2. La tecnica è a tempera o ad olio?
3. La preparazione è a gesso o bianca?
4. Che tipo di vernice è presente?
5. La lamina dell'altare è in oro?

Niccolò Alunno: Madonna con Bambino e Santi (1499)

Datazione e autenticazione



1. Ci sono pigmenti o leganti di epoche successive?
2. La tecnica pittorica è quella tipica dell'artista?

Dipinto su tavola, Perugino

Accertamento stato di conservazione dell'opera



1. Sono presenti solfati?
2. Sono presenti ossalati?
3. Sono presenti nitrati?
4. La pietra è decoesa?

Controllo degli interventi di restauro



1. Il metodo di pulitura e' efficace ?
2. La pulitura lascia residui dannosi?
3. La pulitura altera l'aspetto cromatico?
4.

Dipinto murale a S. Francesco, Arezzo

Metodi di indagine scientifica

```
graph TD; A([Metodi di indagine scientifica]) --> B[Metodi non distruttivi]; A --> C[Metodi distruttivi]; B --> D[Tecniche imaging]; B --> E[Tecniche puntuali]; C --> F[Tecniche di bulk]; C --> G[Tecniche stratigrafiche];
```

Metodi non distruttivi

Tecniche imaging

Tecniche puntuali

Metodi distruttivi

Tecniche di bulk

Tecniche stratigrafiche

Diagnostica spettroscopica di un dipinto: tecniche di immagine



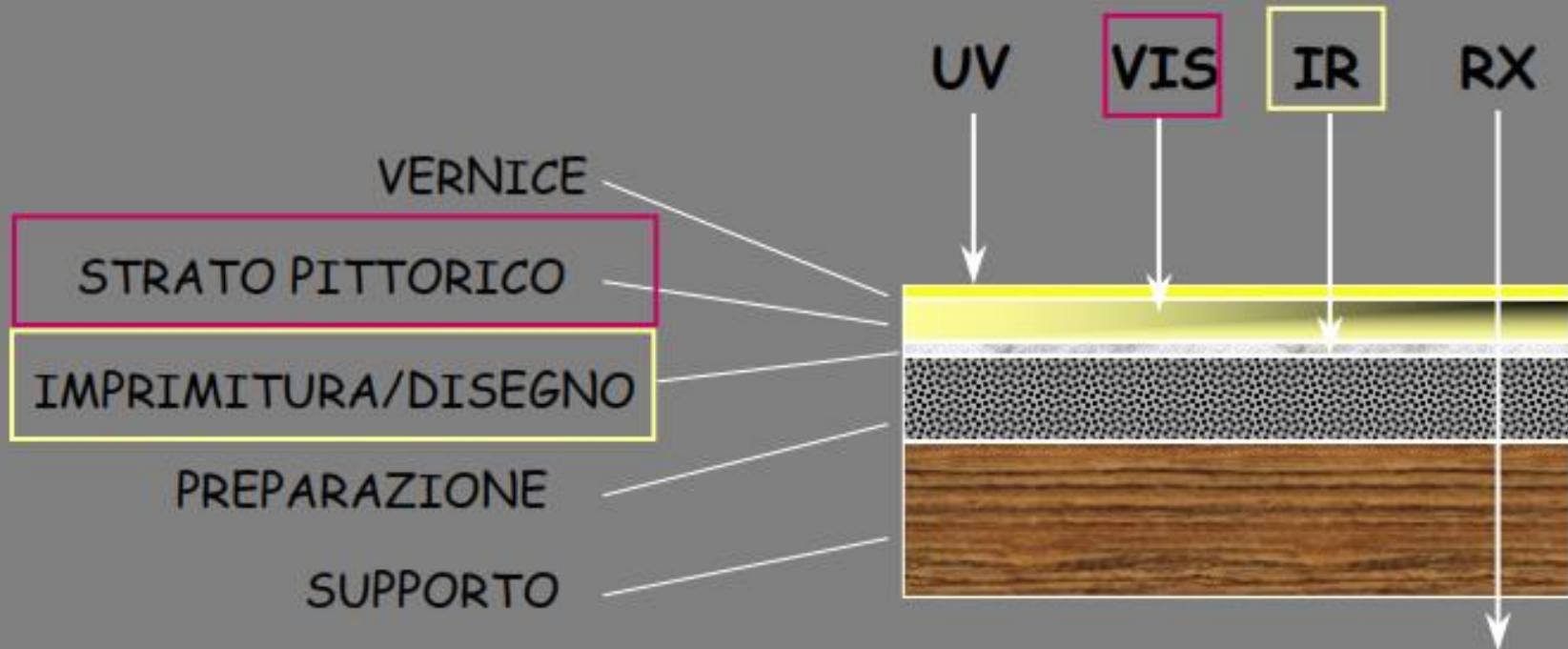
Riflettografia a colori

Fluorescenza UV

Riflettografia IR

Radiografia a raggi X

Diagnostica spettroscopica di un dipinto: tecniche di immagine



E' la conversione in immagini fotografiche visibili, di interazioni della superficie con radiazioni elettromagnetiche non rivelabili all'occhio umano

Tecniche analitiche

```
graph TD; A([Tecniche analitiche]) --> B[Metodi chimici]; A --> C[Metodi cromatografici]; A --> D[Metodi spettroscopici]; B --- B1[distruttivi]; C --- C1[Microdistruttivi: bulk]; D --> E[non-distruttivi]; D --> F[microdistruttivi: stratigrafici]; D --> G[microdistruttivi: bulk];
```

The diagram is a hierarchical flowchart. At the top is a green oval labeled 'Tecniche analitiche'. Three arrows point downwards from this oval to three categories: 'Metodi chimici' (with 'distruttivi' below it), 'Metodi cromatografici' (with 'Microdistruttivi: bulk' below it), and 'Metodi spettroscopici' (which is highlighted in a yellow box). From 'Metodi spettroscopici', three orange arrows point downwards to 'non-distruttivi', 'microdistruttivi: stratigrafici', and 'microdistruttivi: bulk'.

Metodi chimici

distruttivi

Metodi spettroscopici

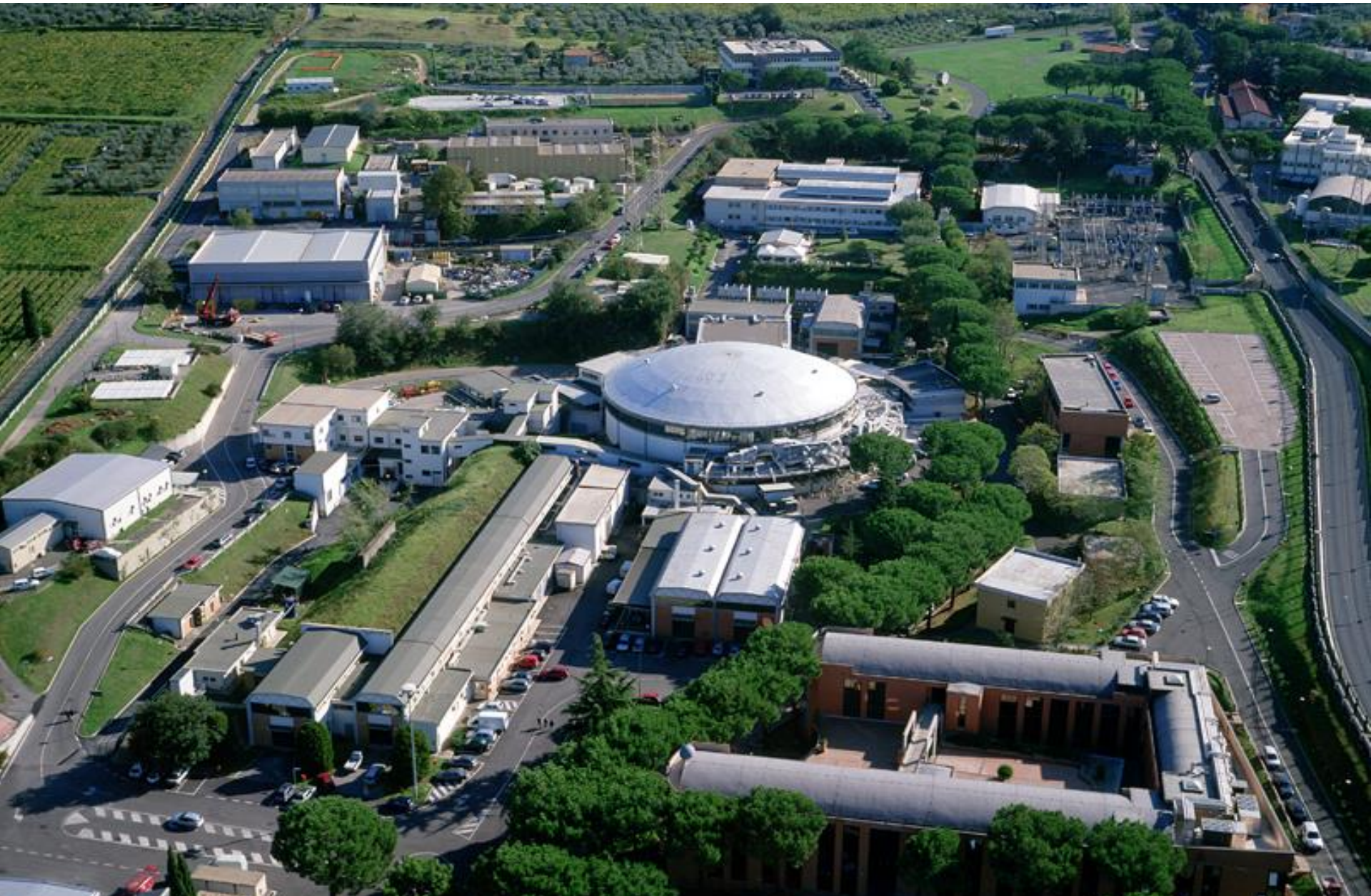
Metodi cromatografici

Microdistruttivi: *bulk*

microdistruttivi:
stratigrafici

non-distruttivi

microdistruttivi:
bulk



1951

4 Sezioni universitarie
Milano, Torino, Padova, e Roma

1957

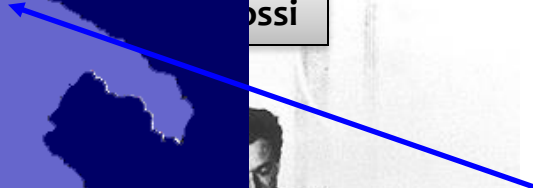
Laboratori Nazionali di
Frascati



Frascati

D'Agost

ossi



Gran Sasso



19 Sezioni
11 Gruppi collegati
4 Laboratori Nazionali

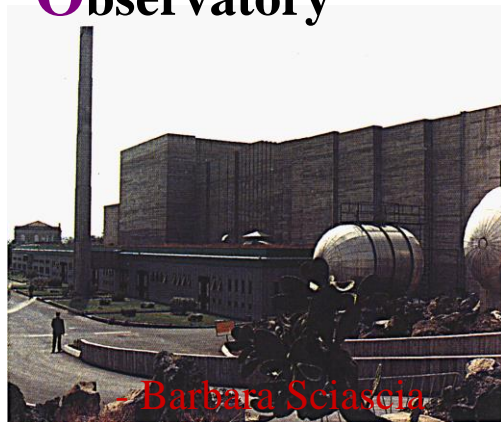
Legnaro



Laboratori del Sud (Catania)



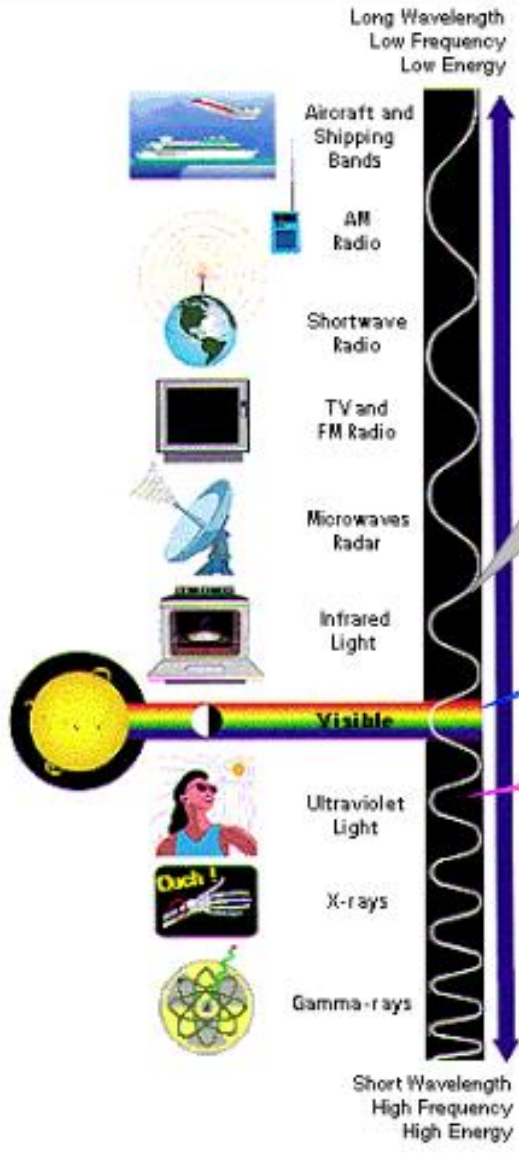
VIRGO-EGO European Gravitational Observatory



Barbara Sciascia
(INFN) - 20 marzo
2013 -

Tecniche diagnostiche per i beni culturali:
La spettroscopia Infrarossa

Le tecniche spettroscopiche



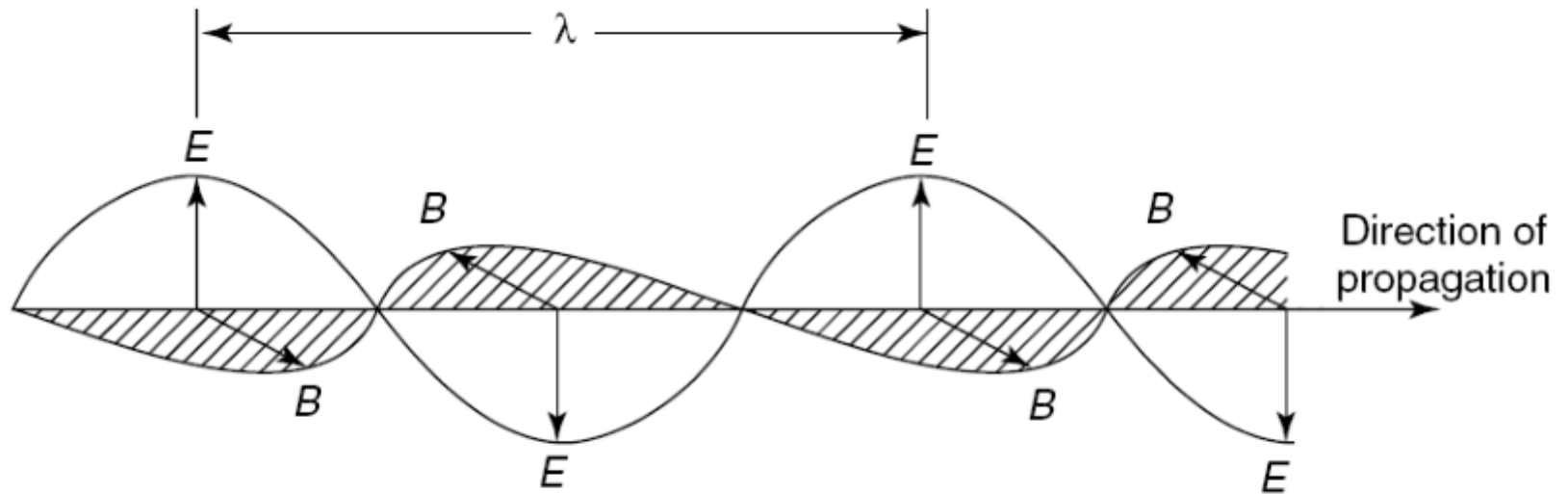
Infrarosso: informazioni sulla struttura molecolare

Visibile: informazioni sul colore

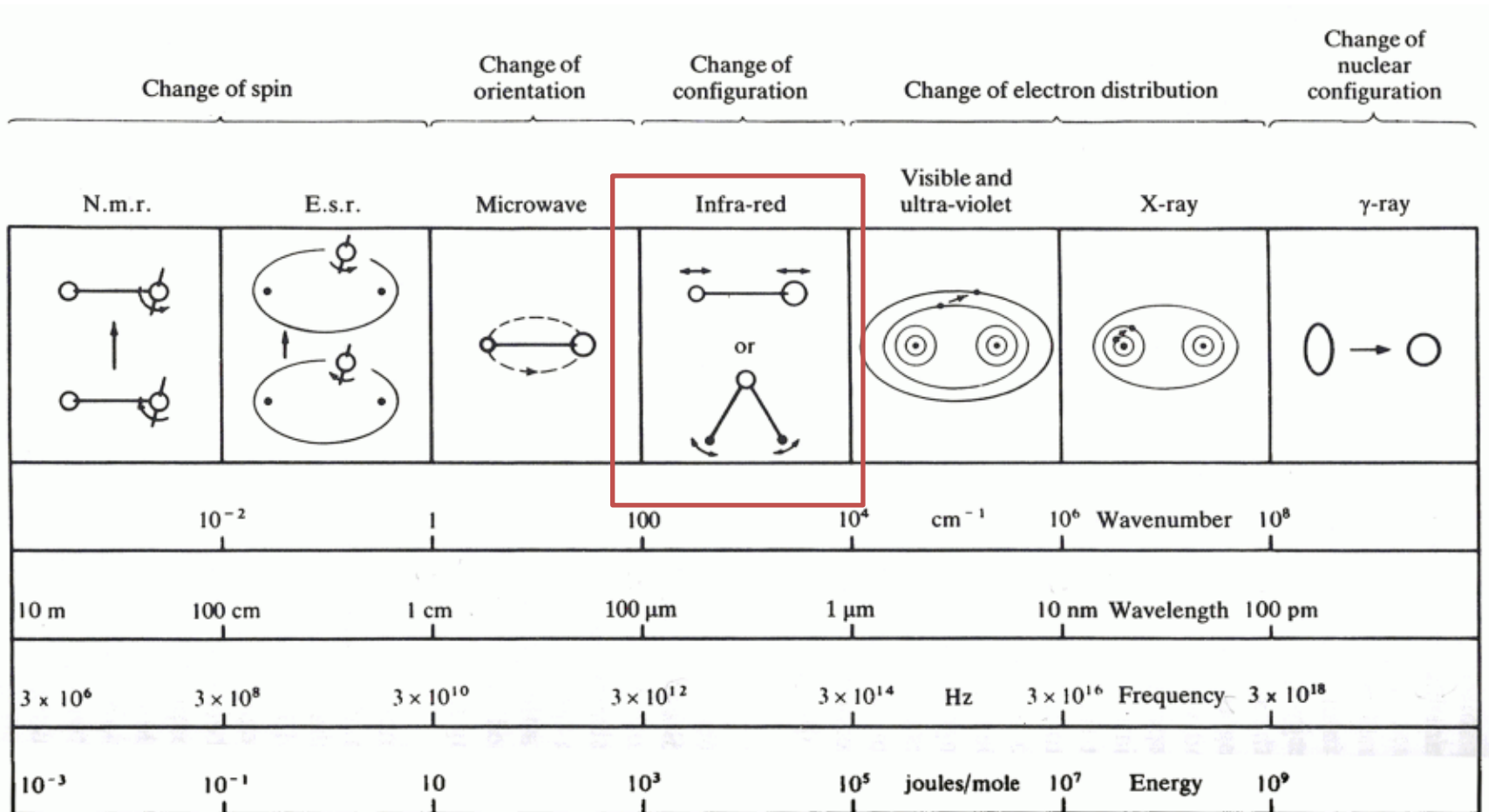
Ultravioletto: informazioni sulla struttura molecolare

Raggi X: informazioni strutturali ed atomiche

Il campo EM



L'interazione di una molecola con il campo e.m.

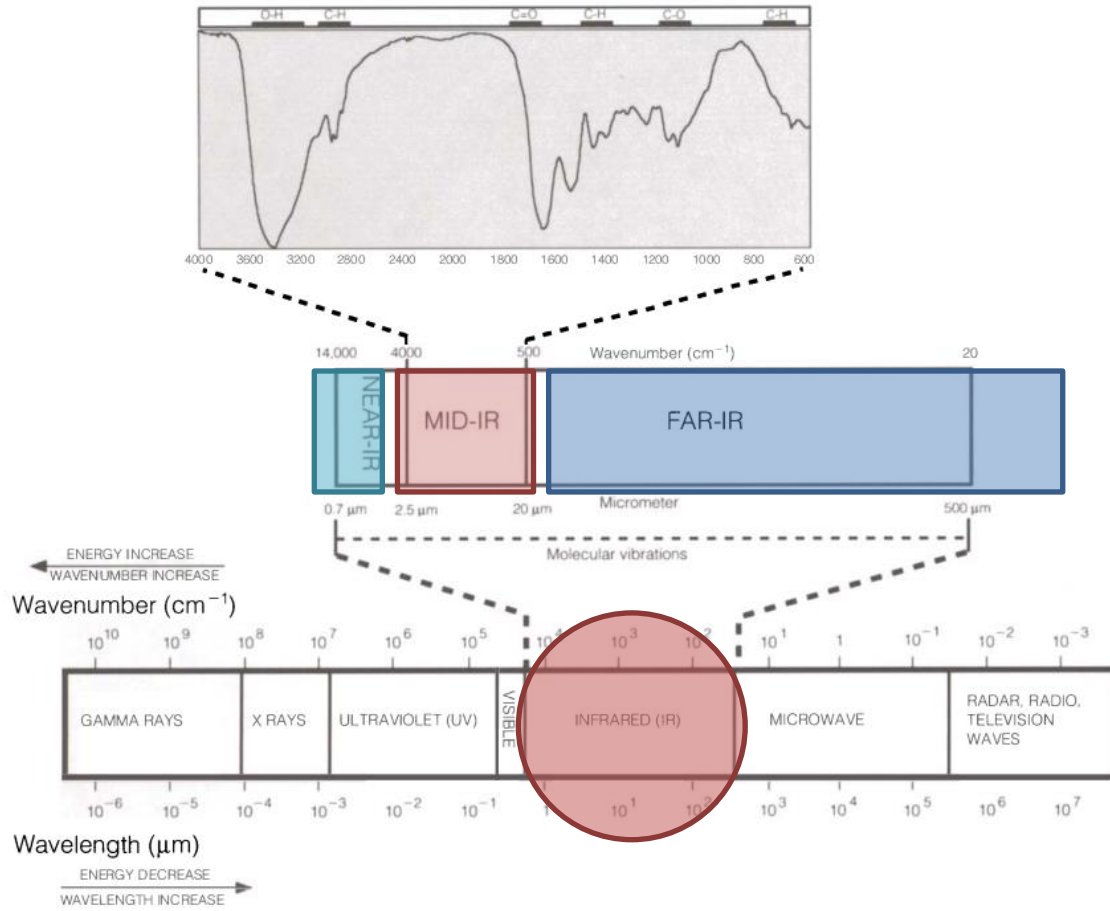


Unità di misura

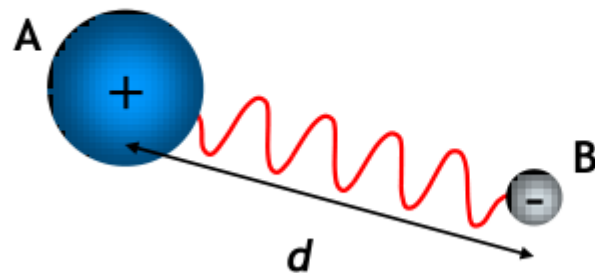
- La radiazione visibile e quella infrarossa sono due tipi di radiazione elettromagnetica che differiscono tra di loro per lunghezza d'onda. Entrambe si propagano nel vuoto a velocità costante c .
- E' possibile caratterizzare la radiazione e.m. attraverso una delle seguenti grandezze:
 - Lunghezza d'onda λ (si misura in μm)
 - La frequenza ν (misurata in **Hz**: $\nu=c/\lambda$)
 - L'energia dell'onda E (misurata in **eV**: $E=h\nu$)
 - Il numero d'onda (wavenumber) $\tilde{\nu}$ (misurato in **cm^{-1}**)

$$\tilde{\nu} (\text{cm}^{-1}) = 1/\lambda (\text{cm})$$

Lo spettro elettromagnetico e l'IR

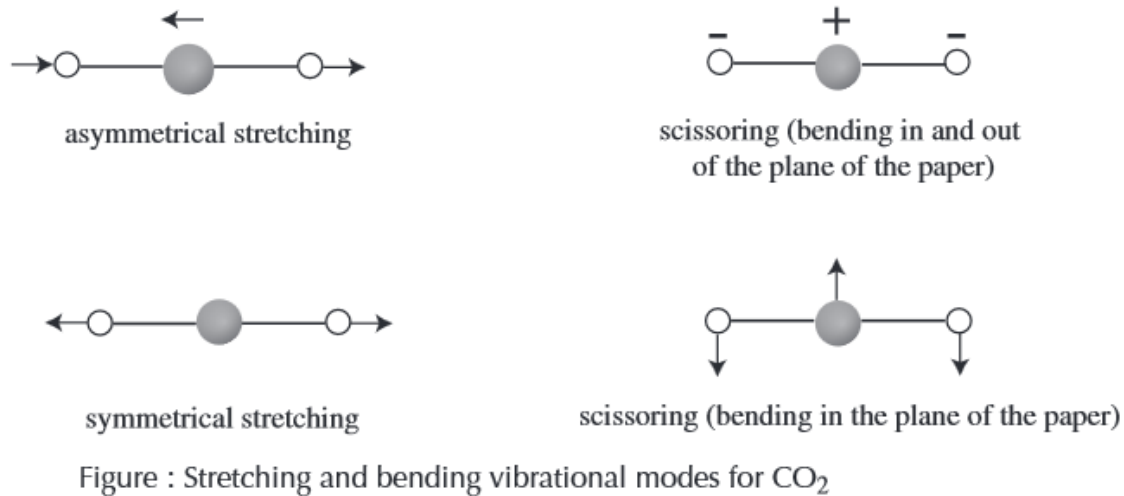
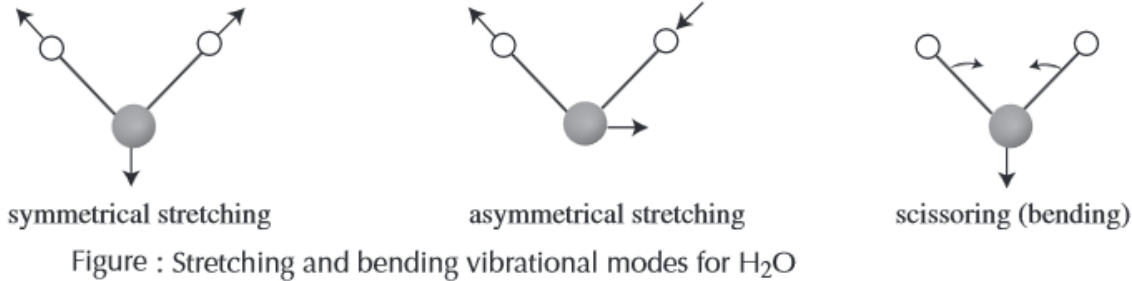


- L'interazione di una molecola con il campo e.m. **IR** avviene **solo** se c'è una variazione del momento di dipolo della molecola nel suo moto vibrazionale:

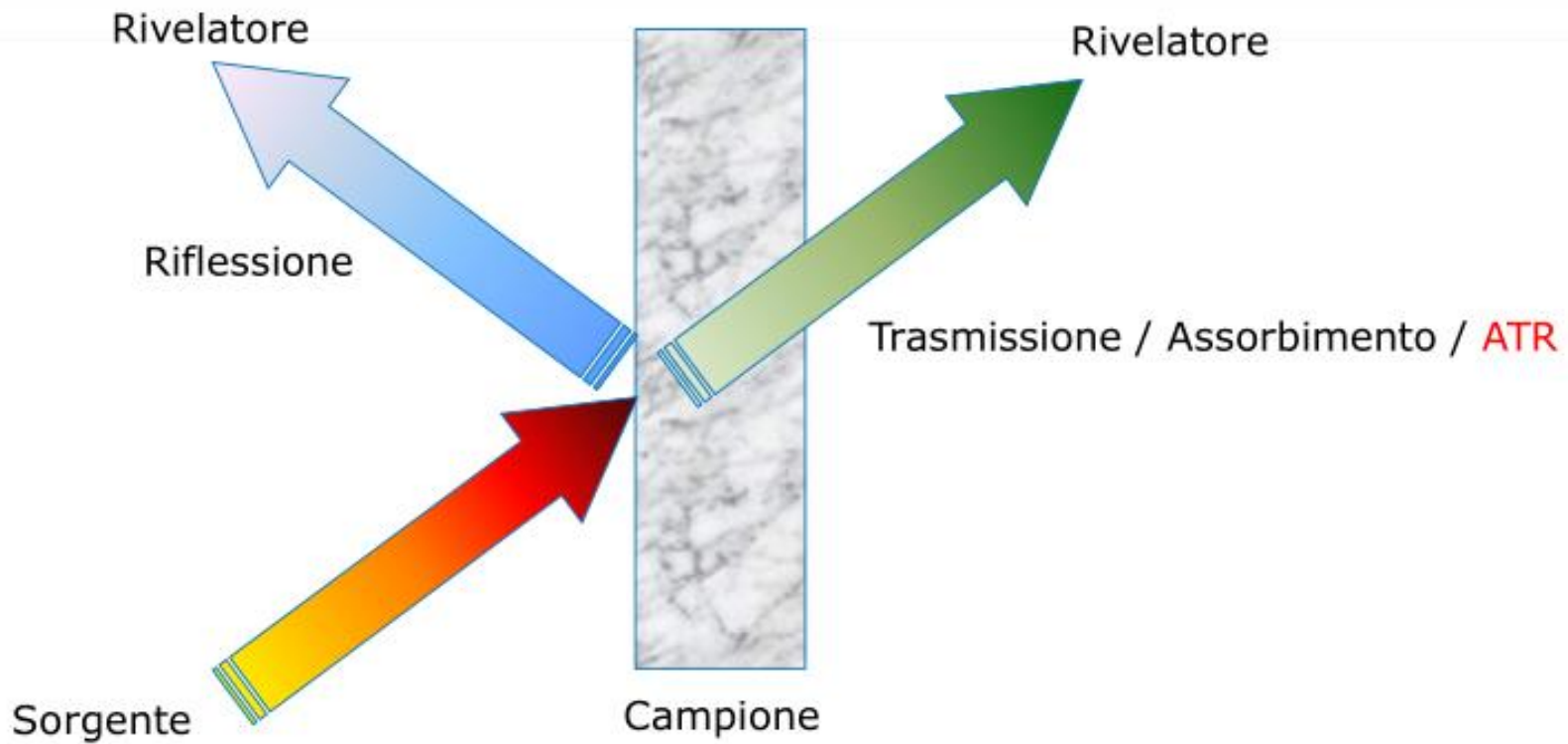


$$\mu = |\delta e| \cdot d$$

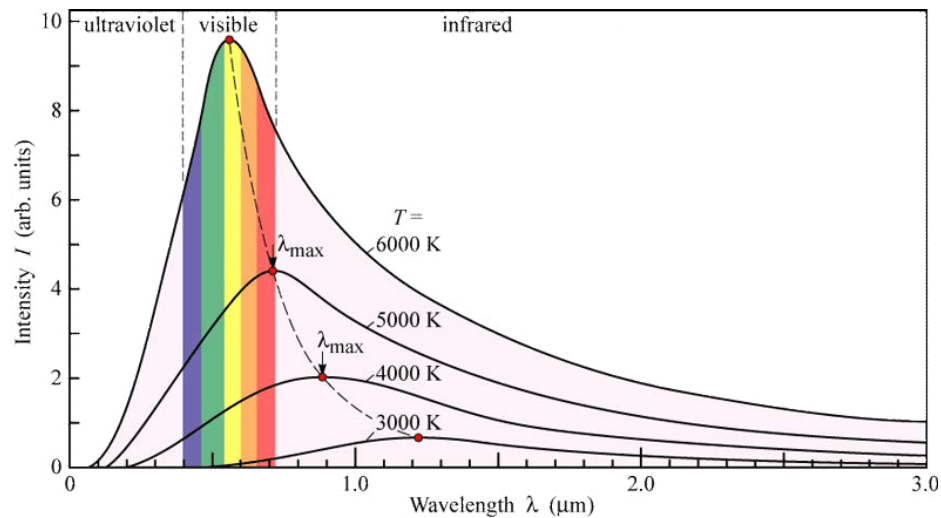
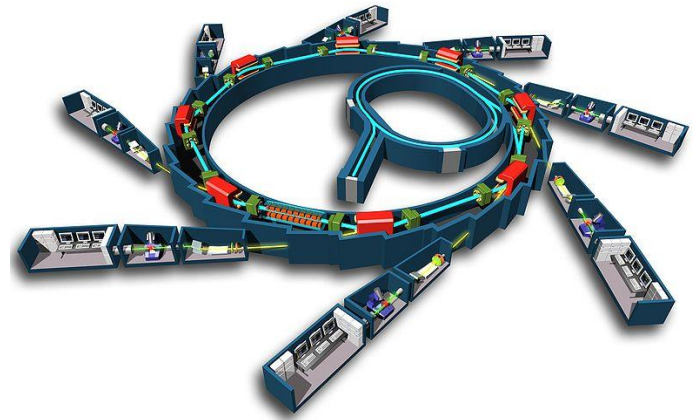
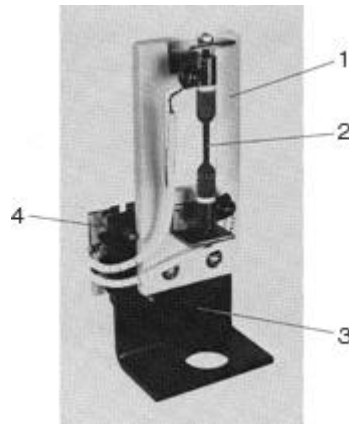
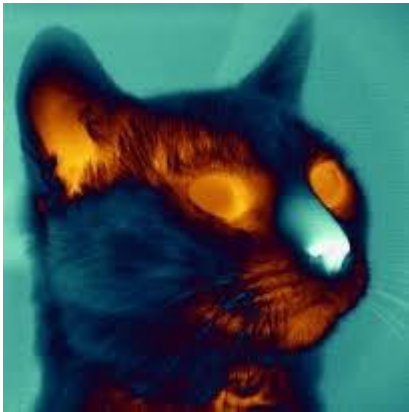
Esempi di modi attivi e nell'IR

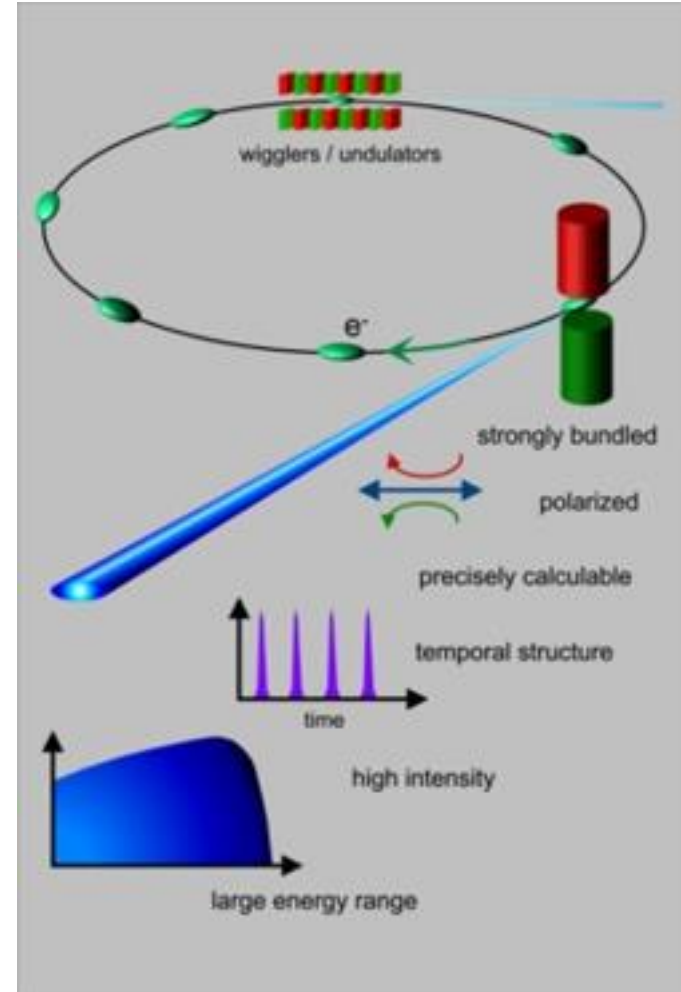


- O₂, H₂, Cl₂, N₂ non assorbono nell'IR!



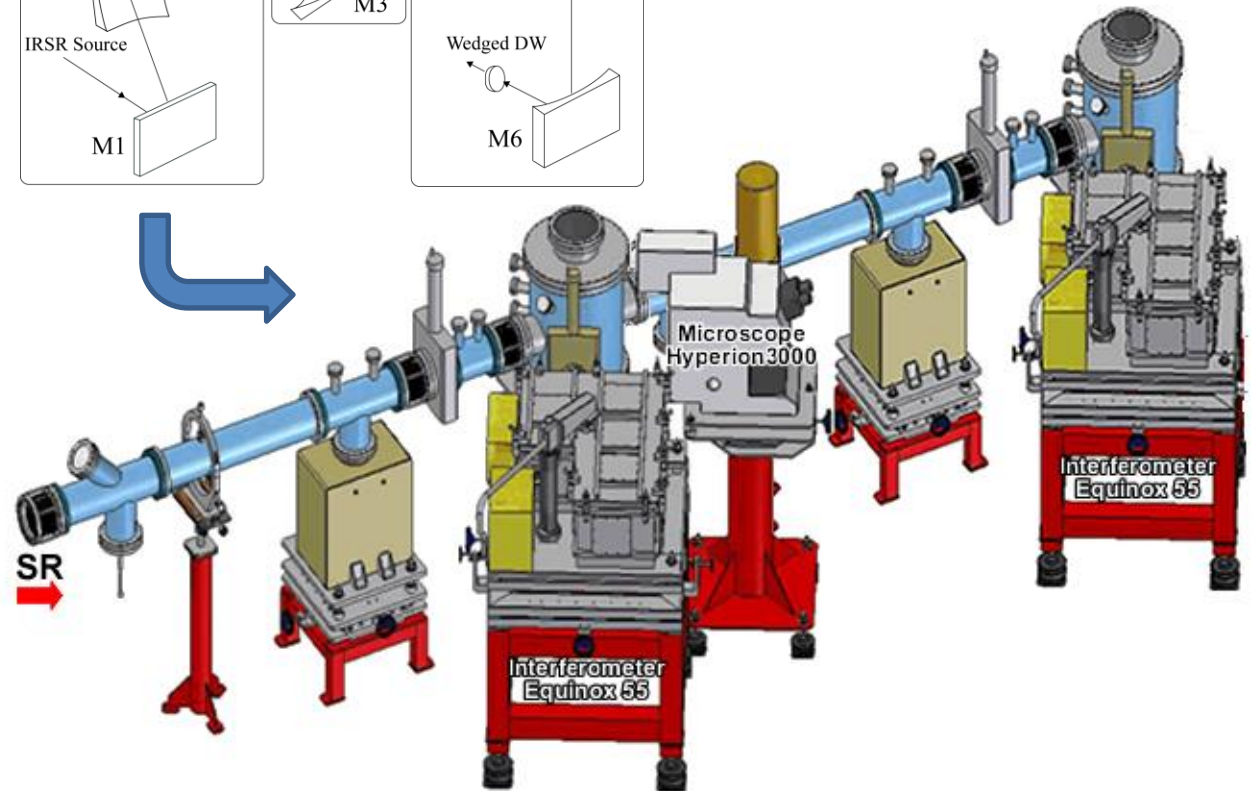
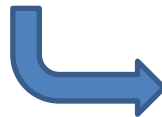
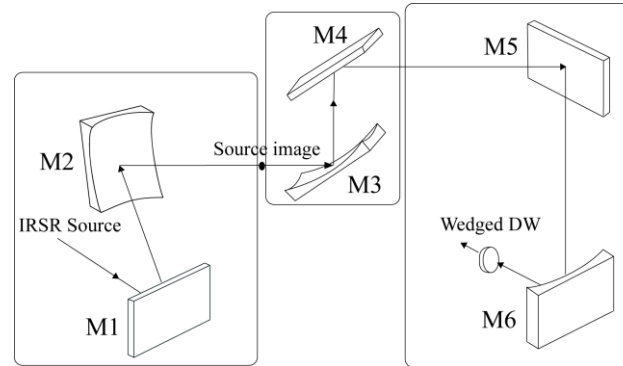
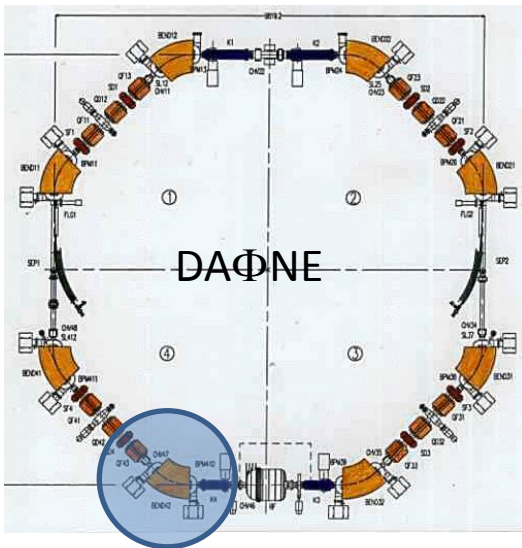
Le sorgenti di radiazione IR





La beamline SINBAD

Infrared domain
from 10 to 10^3 cm^{-1}
1.24meV to 1.24 eV



APPLICAZIONI ALLO STUDIO DI SEZIONI STRATIGRAFICHE

La microscopia infrarossa

Il microscopio IR è un condensatore di radiazione IR con caratteristiche peculiari .

La sorgente del Microscopio (che di solito contiene uno o più rivelatori) è lo spettrometro FT-IR.

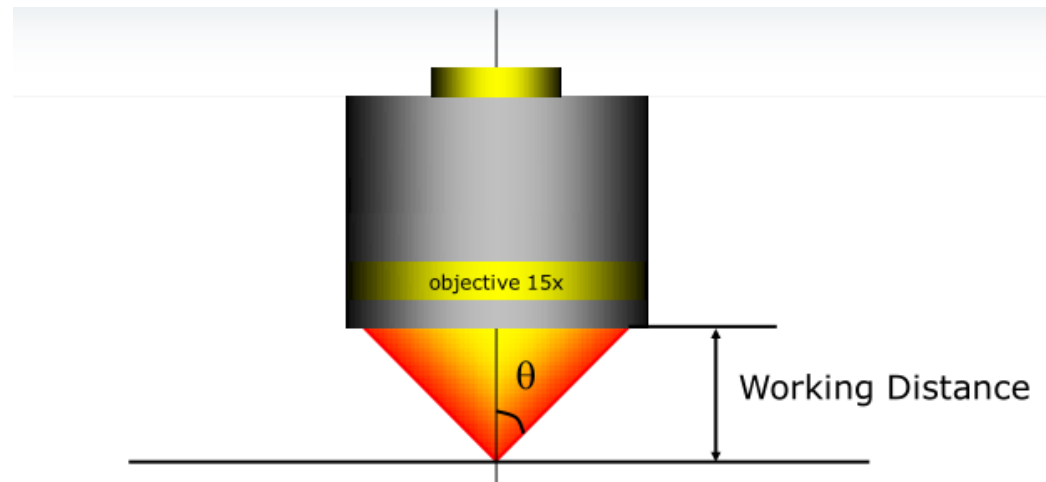
In casi particolari anche la sorgente può essere integrata nel corpo del microscopio



Perchè usare un microscopio IR?

- Vedere campioni piccoli (dimensioni lineari <1mm) per poterli misurare, eliminando problemi di allineamento del campione stesso
- Avere la possibilità di analizzare campioni altamente disomogenei con elevate risoluzioni spaziali
- Avere un sistema flessibile che permetta di lavorare in trasmissione e riflessione (speculare, ATR e grazing angle), anche sullo stesso campione
- Possibilità di generare delle immagini (chimiche) da sovrapporre all'immagine visibile

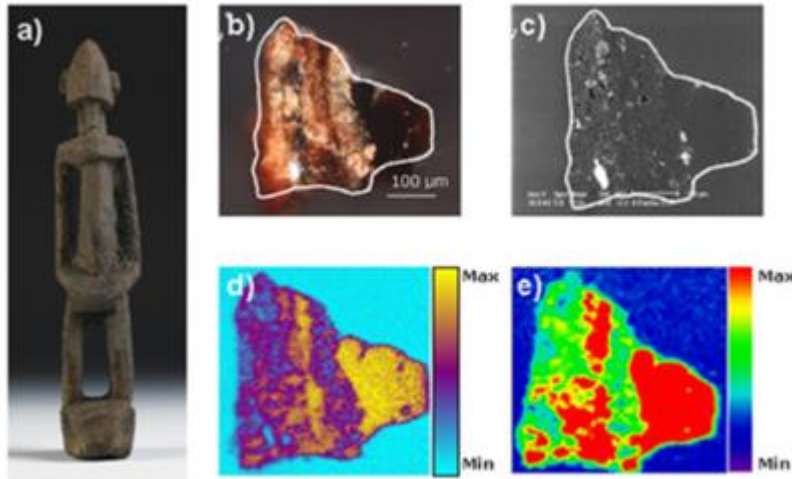
Un microscopio ottico però **non** è utilizzabile come microscopio IR: le lenti di cui è fatto il microscopio assorbono la luce IR. Un microscopio IR, quindi, può essere realizzato **solo** utilizzando ottiche a specchi.



$$NA = n \cdot \sin 2\theta$$

Apertura numerica

L'imaging infrarosso



Study of the patina sample from a Dogon statuette:

- a) Photograph of the object, Quai Branly Museum, inventory no 71.1935.105.169, (copyright C2RMF, D. Vigears);
- b) Dark field microscopic view of the cross-section of the sample;
- c) Backscattered electron micrograph;
- d) ToF-SIMS image of protein fragment ions;
- e) SR- μ FTIR image of proteins.

Vincent Mazel et al, (2007).

Analytical Chemistry. DOI : 10.1021/ac070993k

L'obiettivo del mapping e dell'imaging è quello di generare un'immagine (chiamata immagine chimica) contenente solo informazioni spettrali (IR o Raman), che si può sovrapporre all'immagine visibile.

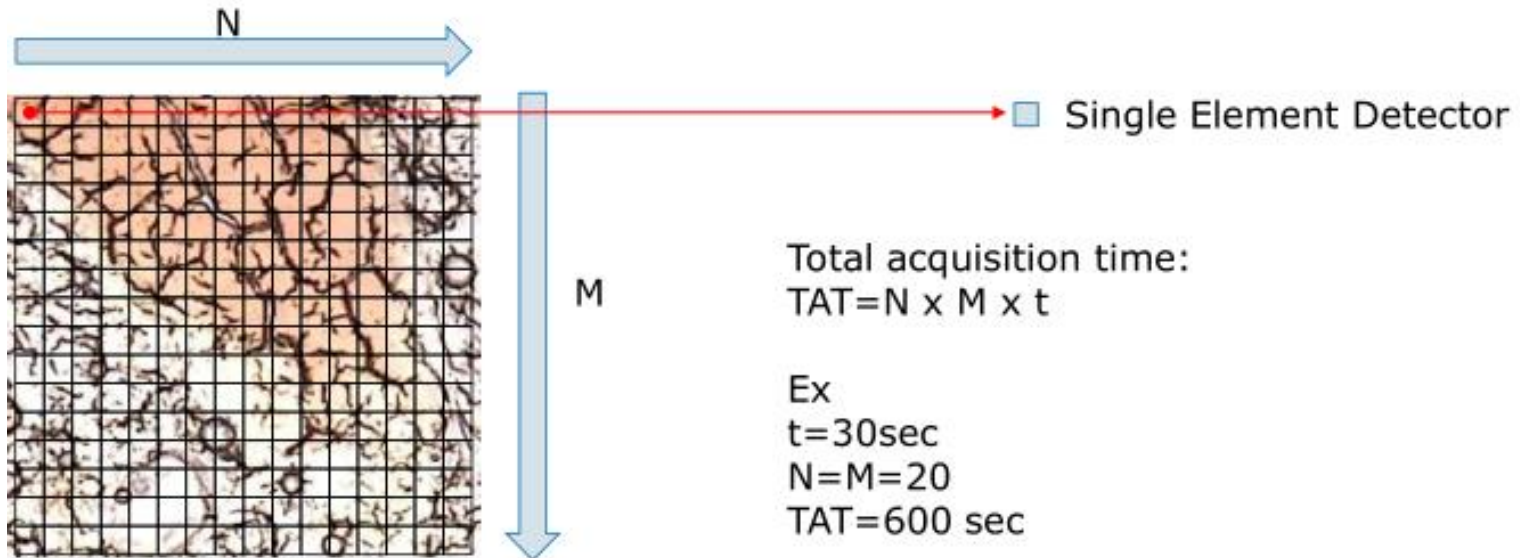
A seconda del rivelatore utilizzato, è possibile ottenere un'immagine chimica:

- Punto per punto (raster scan, mapping)
- In una singola scansione (usando rivelatori Focal Plane Array, imaging)

Mapping vs imaging

Mapping:

- Campione
- Stage portacampioni automatico gestito da PC
- Rivelatore a singolo elemento (MCT, $250\mu\text{m}$)



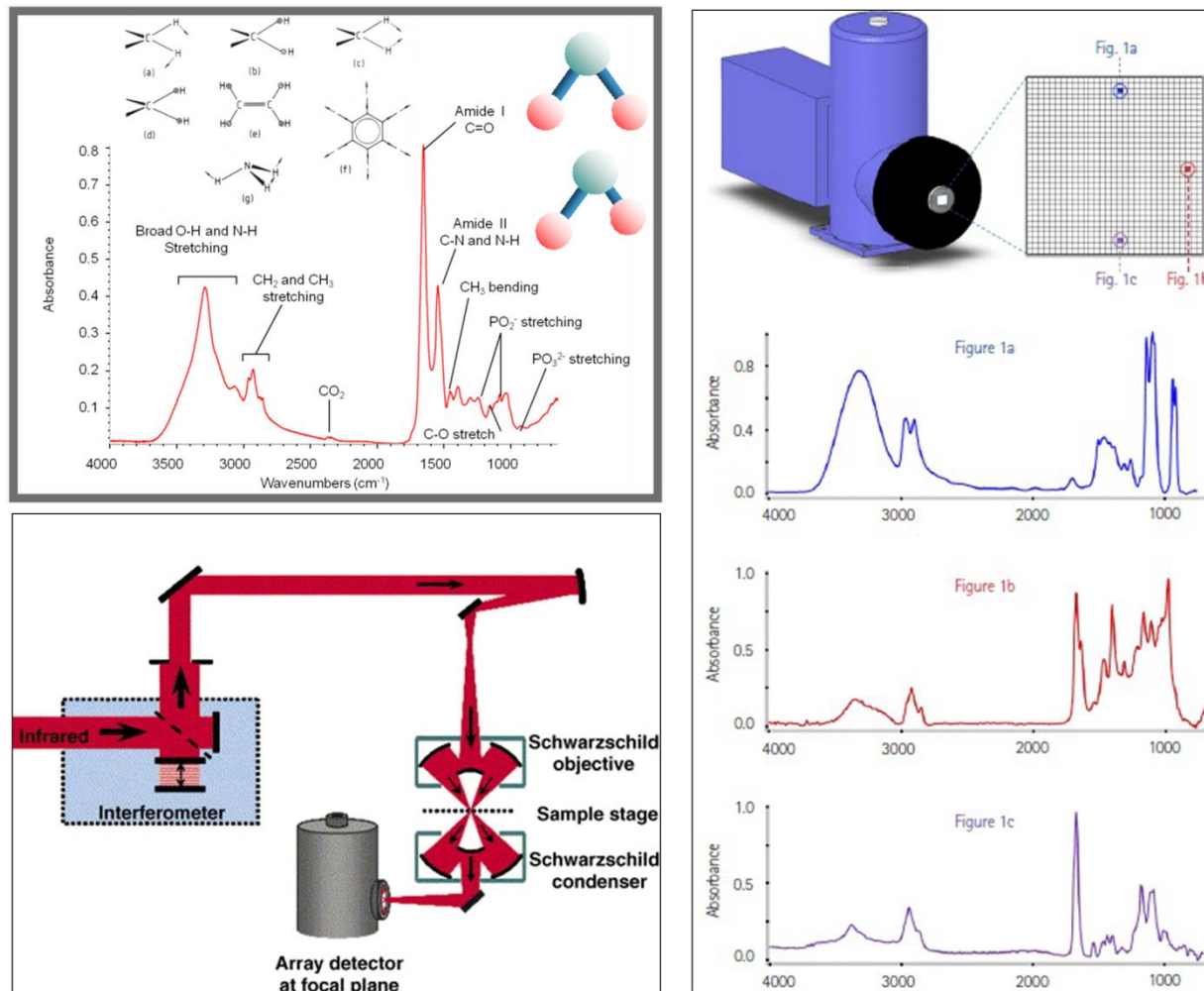
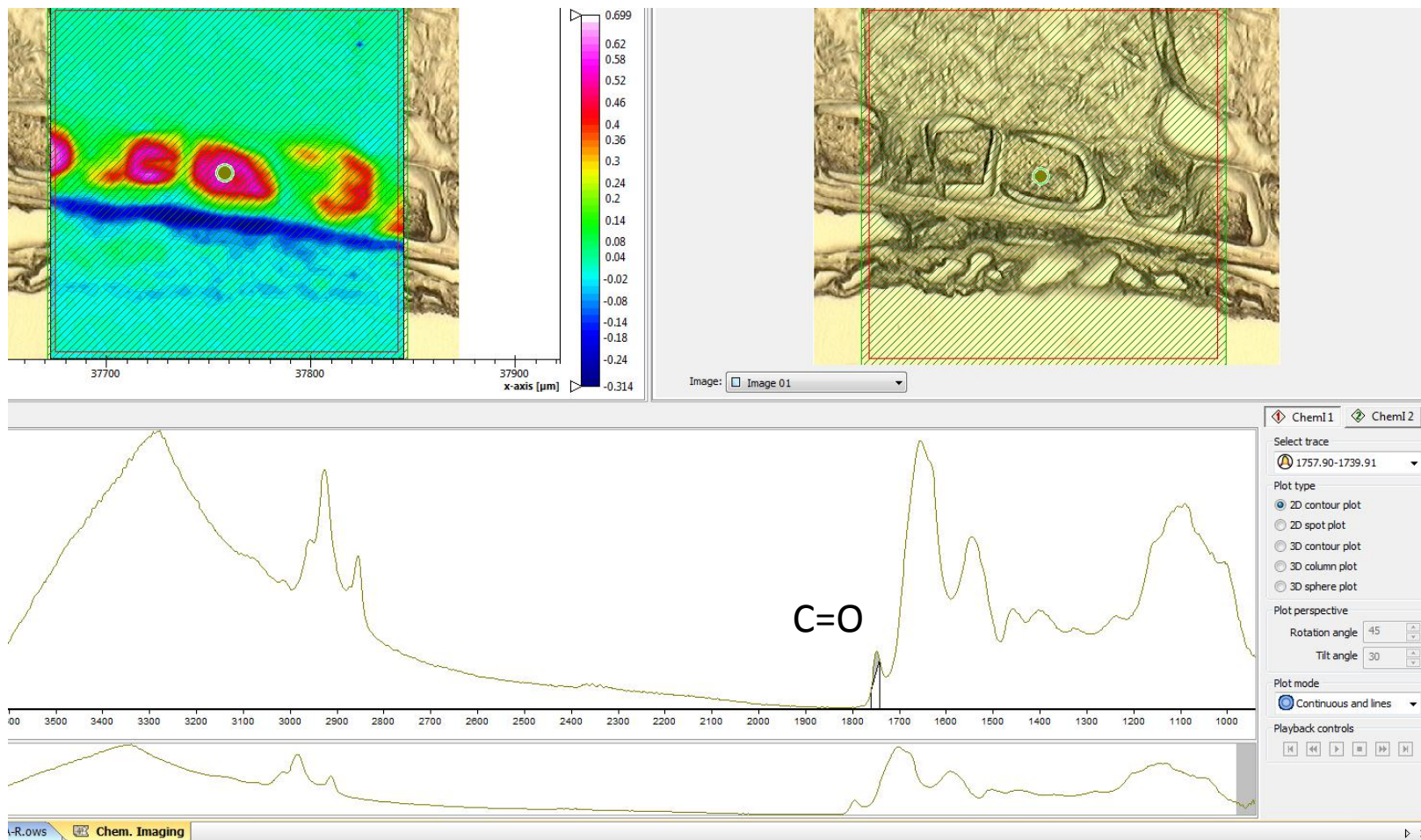
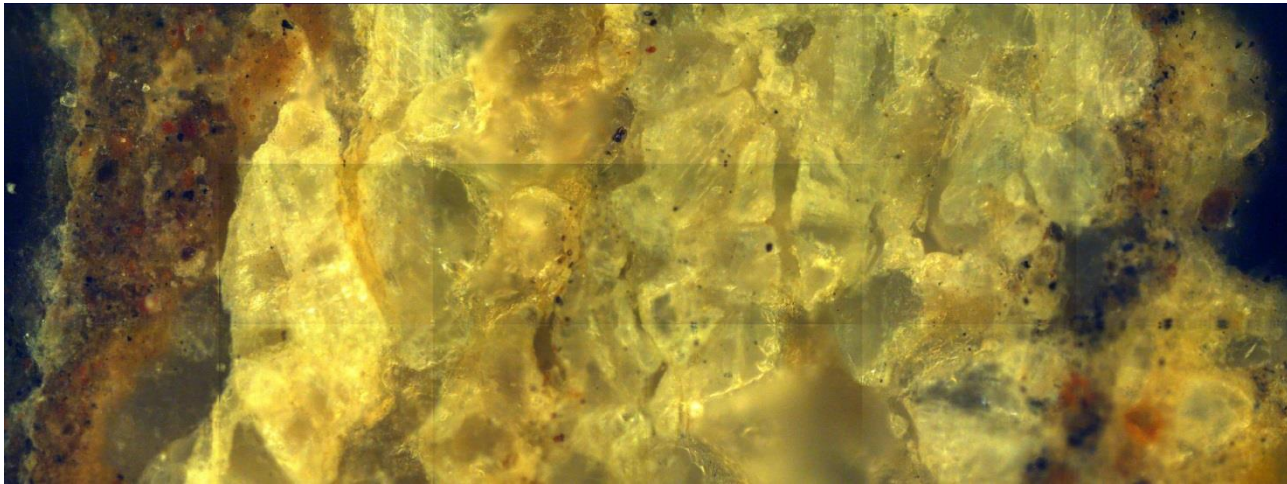


Figura 2: (a) Lo spettro IR di un composto organico mostra gli assorbimenti dovuti alle vibrazioni molecolari. (b) Schema ottico del microscopio IR accoppiato allo spettrometro ed al detector FPA. (c) Schema di funzionamento di un detector FPA.

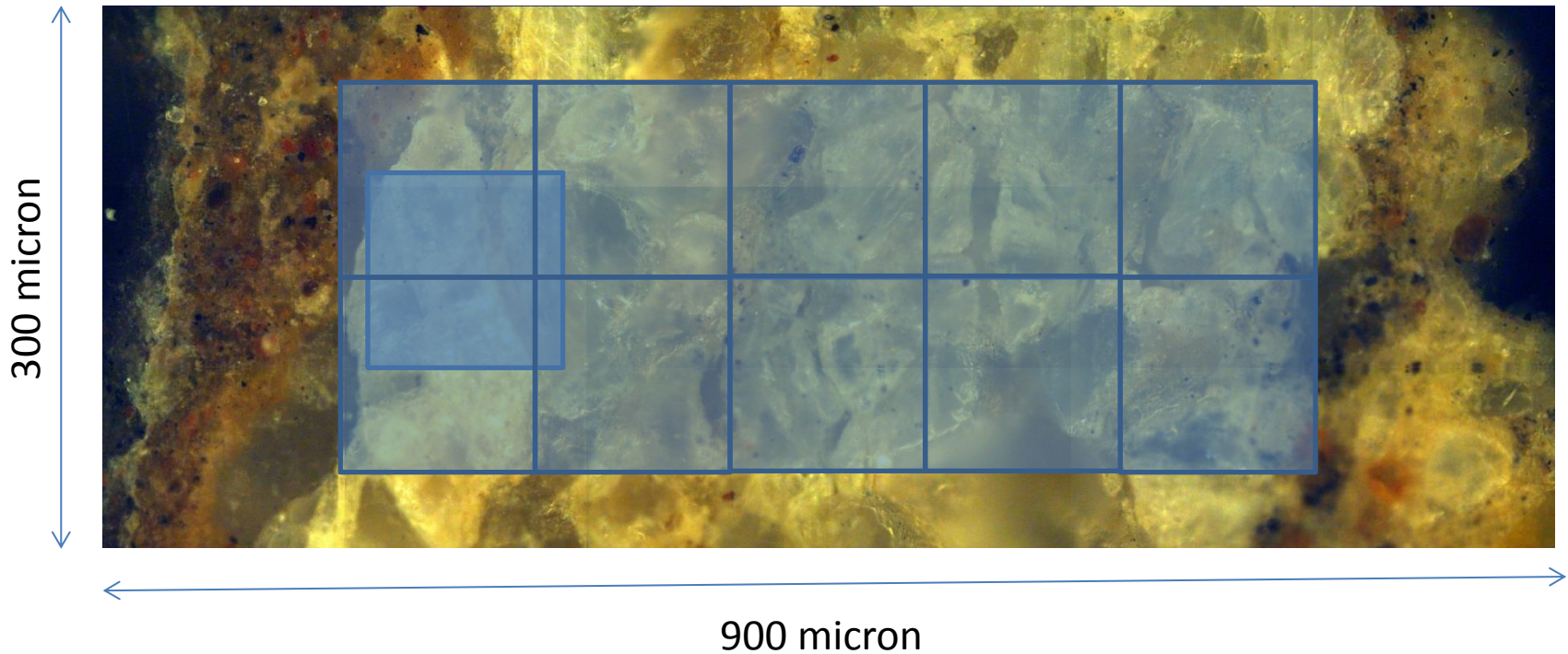
Imaging chimico



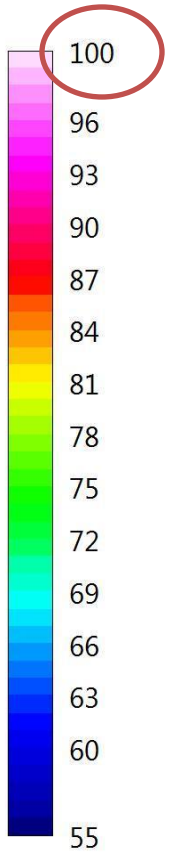
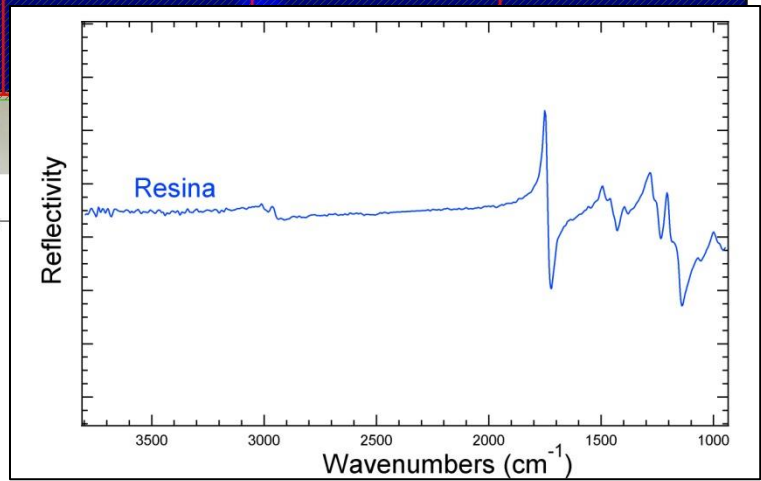
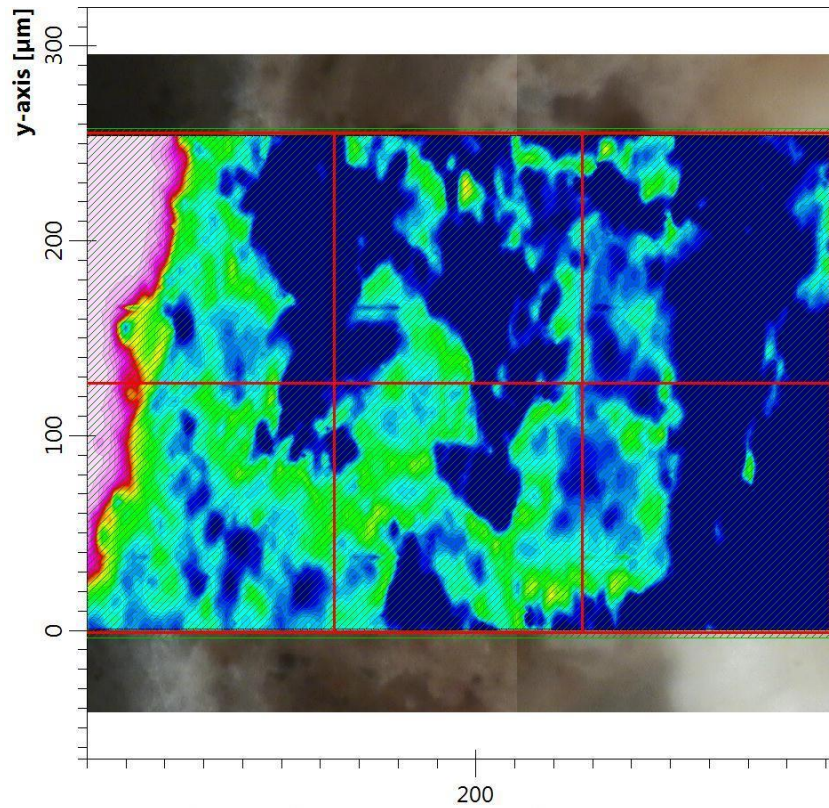
Applicazione dell'imaging IR ad un caso studio



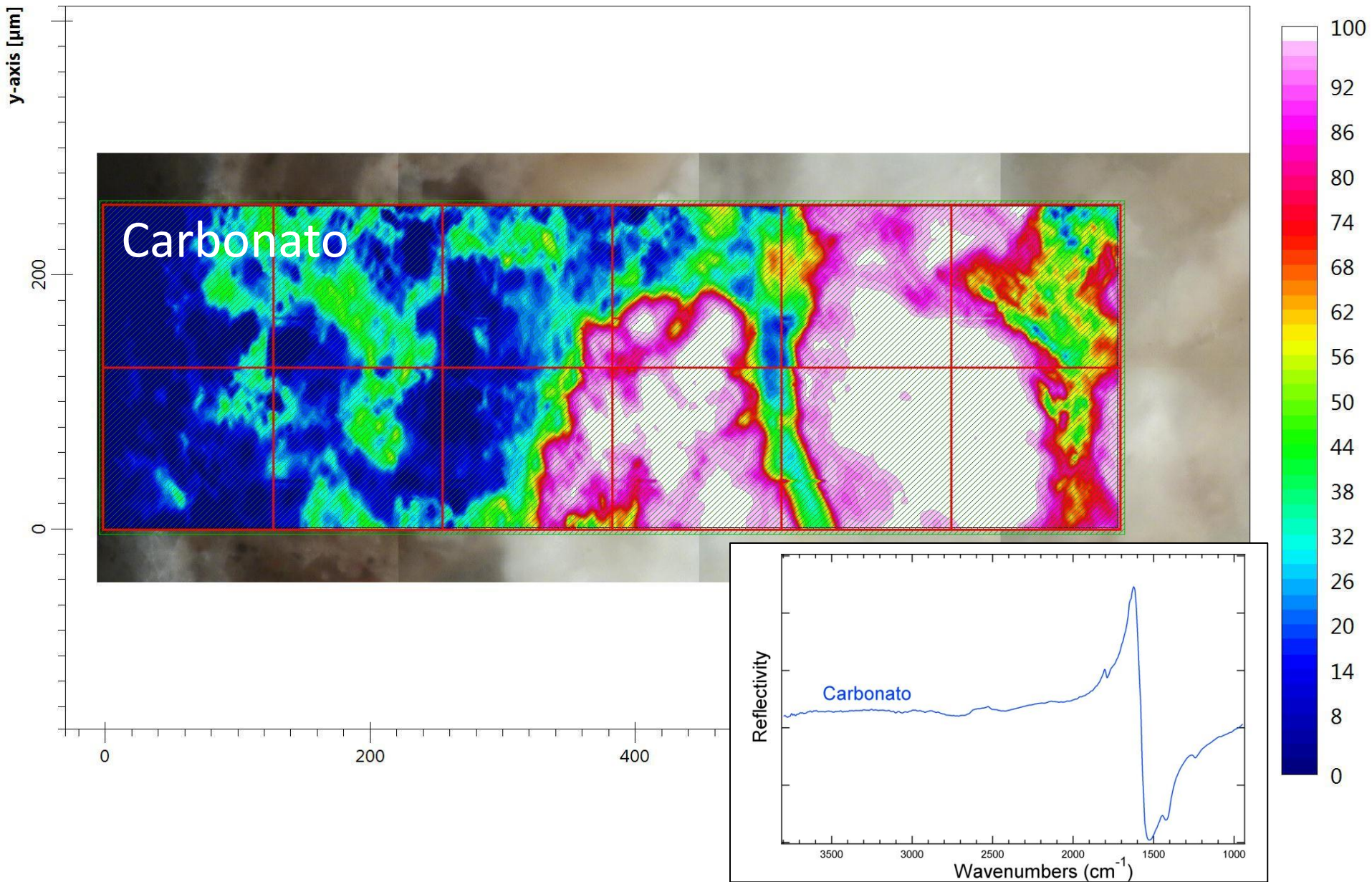
Applicazione dell'imaging IR ad un caso studio



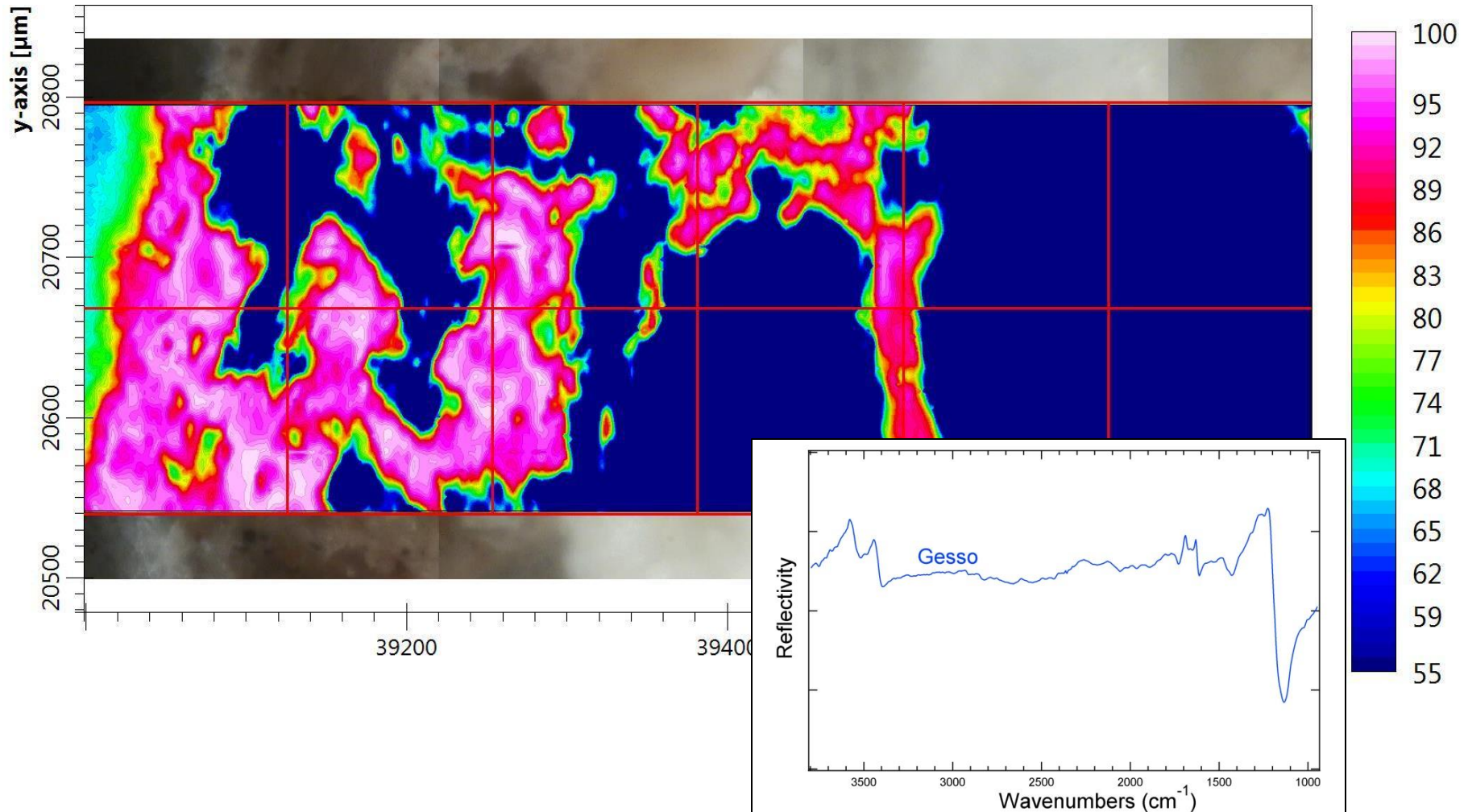
Obiettivo 20X → 128x128 micron
Mappa almeno 6x2



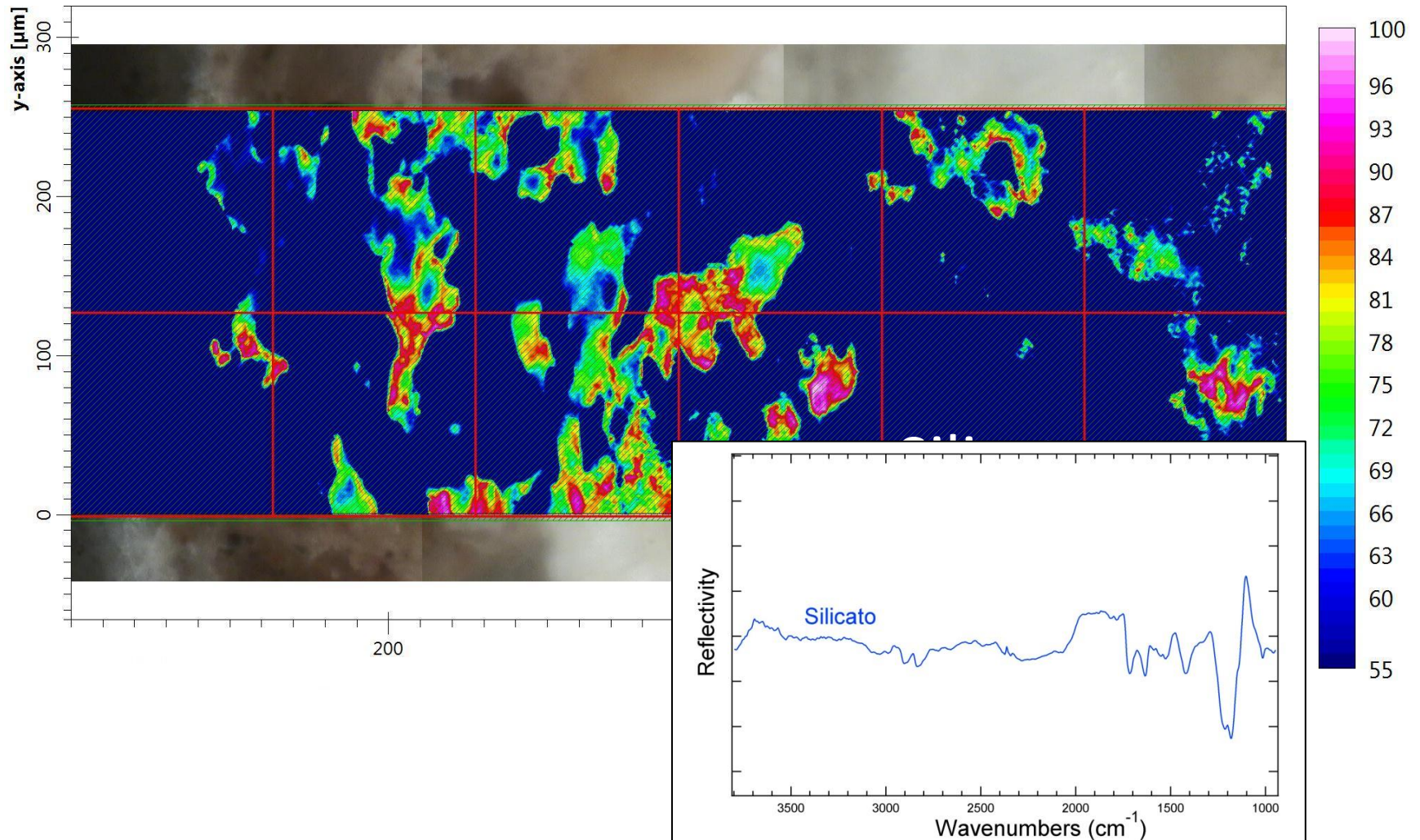
Correlazione spettrale



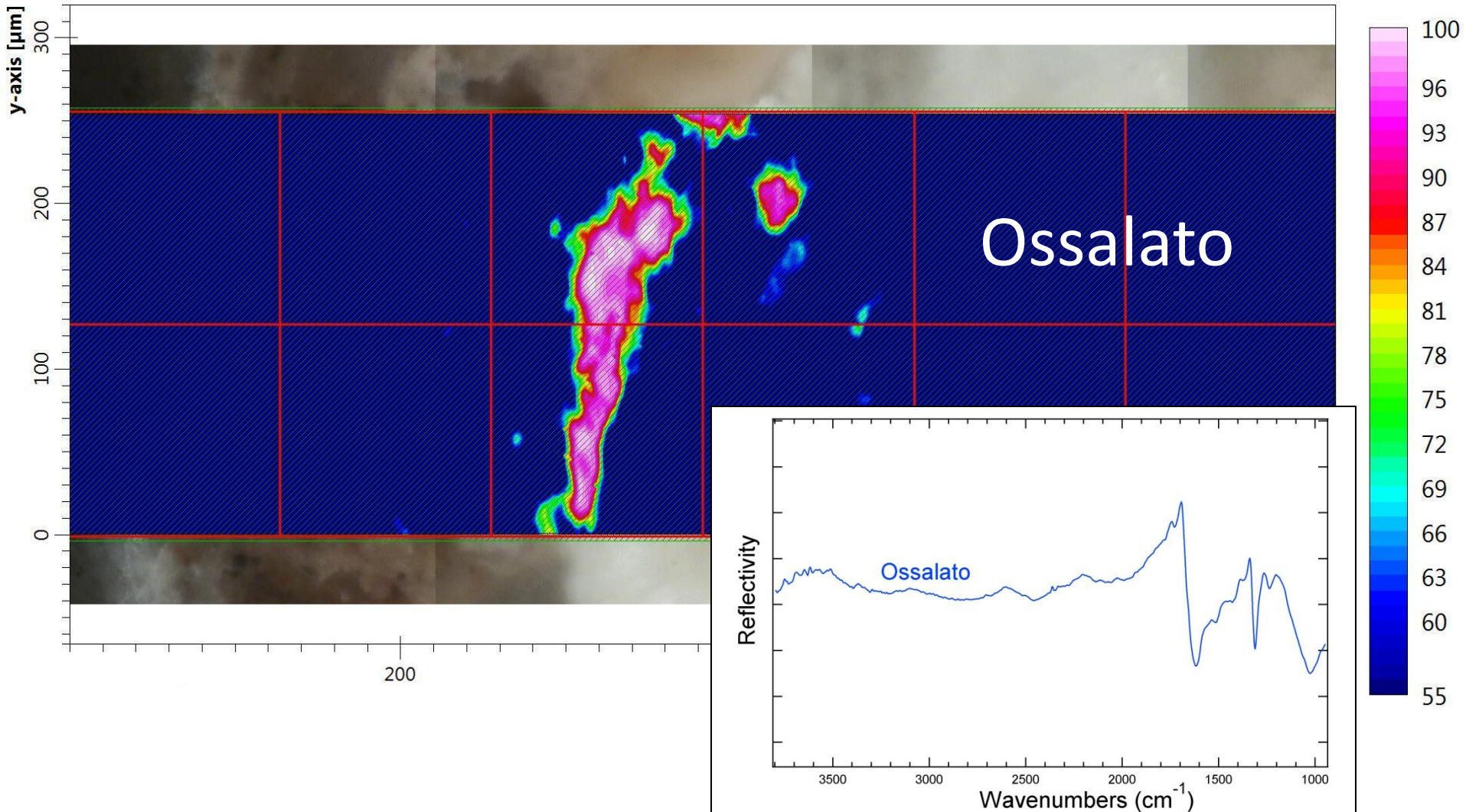
Correlazione spettrale



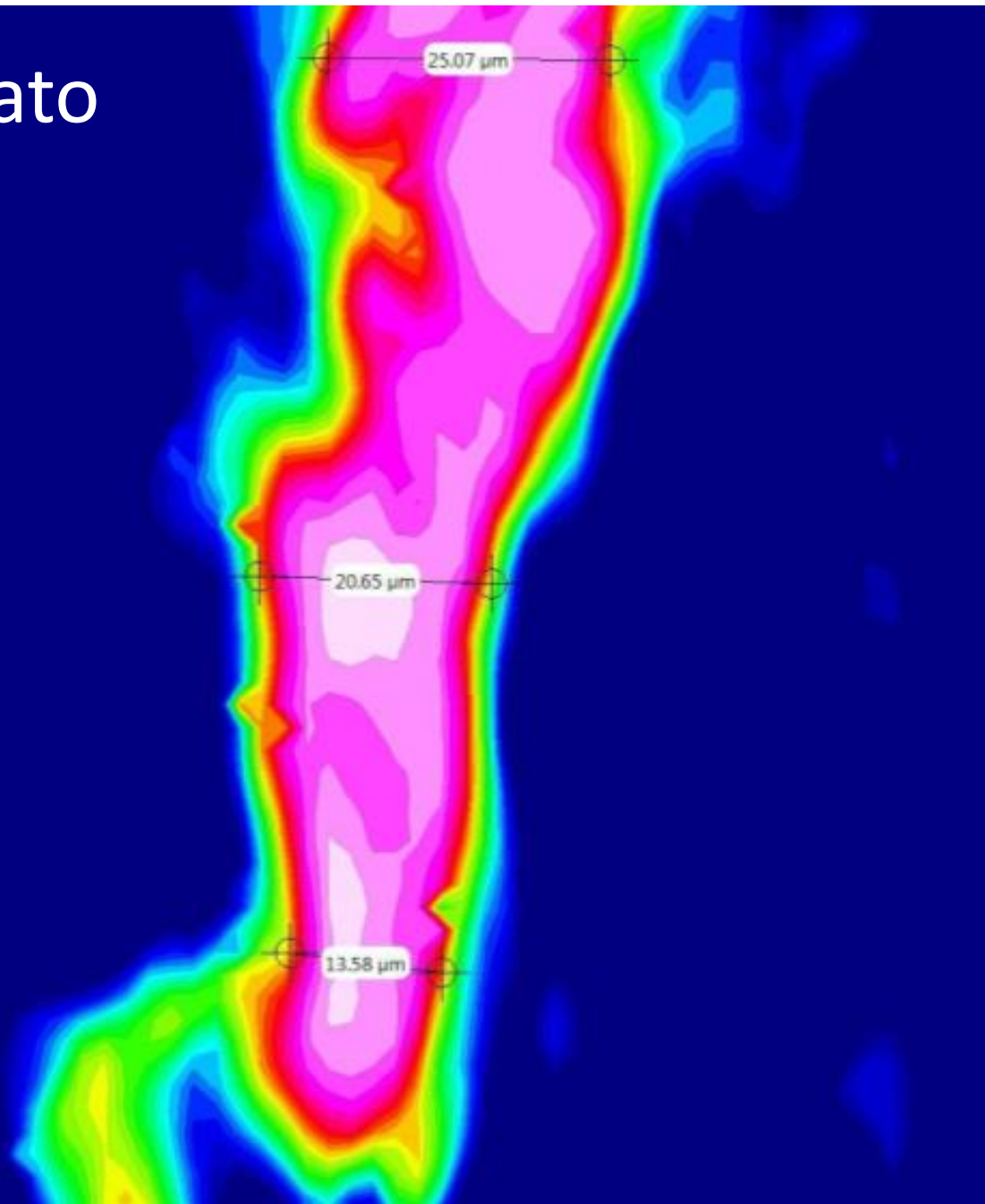
Correlazione spettrale



Correlazione spettrale



Ossalato



Ricostruzione immagine RGB finale

The screenshot displays the OPUS software interface. The main window shows a chemical map with various colored regions (red, cyan, yellow, black, green) overlaid on a grayscale image. The x-axis is labeled 'x-axis [μm]' and the y-axis is labeled 'y-axis [μm]'. A 'Multiple tracing' dialog box is open, allowing the user to assign colors to different traces. The dialog box has two tabs: 'Select File' and 'Assign Colors'. The 'Assign Colors' tab is active, showing a list of traces with their corresponding colors and names. The 'Number of traces' is set to 5. The 'Execute' button is highlighted.

Color	Trace Name
Green	Correl. CaCO3_sev8 lan
Red	Correl. Resina_sev8 lan
Cyan	Correl. Gesso_sev8 lan
Yellow	Correl. Ossalato2_sev8
Black	Correl. Silicato_sev8 lan
Cyan	Correl. Resina_sev8 lan
Blue	Correl. Resina_sev8 lan
Black	Correl. Resina_sev8 lan

Either load an existing spectrum file or measure a spectrum.

For Help, press F1

No Active Task

CAP NUM SCRL

17:57
07/02/2013

Grazie!

The screenshot shows the homepage of the DAFNE-LIGHT website. At the top left is a logo featuring a bright sunburst next to the text "DAFNE-LIGHT" and "INFN-LNF Synchrotron Radiation Facility". A navigation bar below the logo contains links for "INFN", "LNF", "DAFNE Storage Ring", and "DAFNE-Light".

On the left side, there is a "Menu" box with a red border containing a list of links: Home, Beamlines, Organization, Secretariat, Technical Staff, General publications, Highlights, DAFNE storage ring parameters, DAFNE status, and How to apply.

The main content area features a row of five images: a colorful diffraction pattern, a photograph of a laboratory facility, a ball-and-stick molecular model, a 2D plot with a rainbow color scale, and a grayscale diffraction pattern. Below these images is the heading "DAFNE-Light" and a paragraph of text: "DAFNE-Light is the Synchrotron Radiation Facility at the Laboratori Nazionali di Frascati (LNF). Three beamlines are operational using, in parasitic and dedicated mode, the intense photon emission of DAFNE, a 0.51 GeV storage ring with a routinely circulating electron current higher than 1 Ampere. Two of these beamlines (DXR1 and DXR2) have one of the DAFNE wiggler magnets as synchrotron radiation source, while the third beamline (SINBAD-IR) collects the radiation from a bending magnet. New XUV bending magnet beamlines are nowadays under construction. The beamlines DXR1 and SINBAD-IR are open to external users."

On the right side, there is a "Login" section with input fields for "Username" and "Password", and a "Login" button. Below the login fields are links for "Forgot your password?", "Forgot your username?", and "Create an account". Underneath is a "Who is online" section stating "We have 1 guest online".

At the bottom of the page, there is a footer with a "Feed Entries" icon and text, and a note: "Powered by Joomla!, valid XHTML and CSS."

https://web2.infn.it/Dafne_Light/
cestelli@Inf.infn.it