

CATALOGO DEI SERVIZI FIXLAB

DATING ANALYSES

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

C14-SCAR

INFORMAZIONI GENERALI:

Il C14-SCAR è uno spettrometro progettato per la rilevazione di gas in tracce mediante spettroscopia laser che sfrutta la tecnica di cavity ring-down (CRD) nel regime di assorbimento saturato (SCAR). Il dispositivo è in grado di identificare il radiocarbonio presente in campioni di anidride carbonica gassosa. La precisione ottenuta con 30 minuti di misure mediate può avvicinarsi al 1% del contenuto di carbonio moderno (1 pMC), e il suo intervallo dinamico supera i 5 ordini di grandezza. Il tempo di preparazione standard per ogni campione è di circa 30 minuti.

La tecnica CRD prevede l'indirizzamento di un fascio laser in un risonatore ad alta finesse. Una volta raggiunto un determinato livello di caricamento di luce in cavità, il laser viene rapidamente spento, e viene rivelato il decadimento esponenziale della luce che esce dalla cavità. La costante di tempo del decadimento è legata alle perdite nella cavità. In una cavità vuota, le perdite sono dovute solo agli specchi; tuttavia, se è presente un gas assorbente, il tempo di decadimento è più breve. Confrontando i tassi di decadimento tra una cavità piena e una vuota, è possibile determinare la concentrazione della specie assorbente all'interno della cavità.

C14-SCAR può essere usato per la datazione al radiocarbonio, metodo che fornisce la stima dell'età di materiali a base di carbonio. L'età può essere stimata misurando la quantità di carbonio-14 presente in campioni attraverso la sua comparazione con uno standard di riferimento internazionale. I campioni che sono stati datati dall'introduzione del metodo includono carbone, legno, semi, ossa, conchiglie, pelle, suolo, capelli, ceramica, polline, pitture murali, coralli, tessuti, carta o pergamena, resine.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema C14-SCAR fornito dalla Seconda Unità a Pozzuoli del CNR-INO opera con due laser a cascata quantica (QCL) che emettono circa 100mW a 4.5µm. Entrambi i laser sono alimentati da alimentatori di corrente a ultra-basso rumore e sono protetti da feedback attraverso isolatori ottici. Il primo laser, utilizzato per eseguire il cavity ring-down (CRD), è accoppiato alla cavità ad alta finesse e viene bloccato alla cavità, per una stabilità ottimale della risonanza, tramite la tecnica Pound-Drever-Hall. Per riferire il primo laser alla frequenza assoluta del secondo, viene rilevata la nota di battimento tra i due laser, mantenuta a una frequenza costante da un circuito di feedback che controlla la lunghezza della cavità. Un modulatore acusto-ottico (AOM) assicura lo spegnimento completo del raggio laser per avviare ogni evento di ring-down della cavità.

La cavità ottica è dotata di un sistema di vuoto per caricare e scaricare il gas da misurare, raccordi multipli per collegare manometri e una pompa a vuoto, ed è equipaggiata con 8 termistori per la misurazione della temperatura, monitorati da un monitor multisensore. Progettata per operare a temperature inferiori a 170 K grazie all'alta isolamento termica dall'ambiente esterno, è collegata a un criocooler e presenta specchi altamente riflettenti che assicurano una finesse ottica > 100.000.

Il raggio laser che fuoriesce dalla cavità durante ciascun evento di CRD è rilevato da un fotodiode al mid-IR raffreddato termoelettricamente. Il fotocorrente è elaborato da un preamplificatore transimpedenza e inviato a un oscilloscopio digitale ad alta risoluzione (22 bit, 1 MS/s) all'interno di un'architettura PXI, che include moduli aggiuntivi.

Un criocooler Joule-Thomson, refrigerato ad acqua, a bassa vibrazione raffredda la cella di misurazione a 170 K. Un chiller termoelettrico fornisce acqua fredda in circolazione per raffreddare il criocooler, l'AOM e il suo driver RF.

Lo strumento C14-SCAR è fornito con un software basato su GUI LabVIEW per il controllo dello strumento, l'acquisizione del segnale e l'analisi del segnale.



Figura: spettrometro C14-SCAR

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Delli Santi, M. G., Inero, G., Bartalini, S., Cancio, P., Carcione, F., Galli, I., Giusfredi, G., Mazzotti, D., Bulgheroni, A., Martinez Ferrig, A. I., Alvarez-Sarandes, R., Aldave de Las Heras, L., Rondinella, V. V., & De Natale, P. (2022). Precise radiocarbon determination in radioactive waste by a laser-based spectroscopic technique. PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.2122122119>.
- Delli Santi, M. G., Bartalini, S., Cancio, P., Galli, I., Giusfredi, G., Haraldsson, C., Mazzotti, D., Pesonen, A., & de Natale, P. (2021). Biogenic Fraction Determination in Fuel Blends by Laser-Based ¹⁴CO₂ Detection. Advanced Photonics Research 2, 2000069. <https://doi.org/10.1002/adpr.202000069>
- Galli, I., Bartalini, S., Cancio, P., de Natale, P., Mazzotti, D., Giusfredi, G., Fedi, M. E., & Mandò, P. A. (2013). Optical detection of radiocarbon dioxide: First results and AMS intercomparison. Radiocarbon 55, 213. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16189
- Galli, I., Bartalini, S., Ballerini, R., Barucci, M., Cancio, P., de Pas, M., Giusfredi, G., Mazzotti, D., Akikusa, N., & de Natale, P. (2016). Spectroscopic detection of radiocarbon dioxide at parts-per-quadrillion sensitivity. Optica 3, 385. <https://doi.org/10.1364/OPTICA.3.000385>
- Galli, I., Bartalini, S., Borri, S., Cancio, P., Mazzotti, D., de Natale, P., & Giusfredi, G. (2011). Molecular gas sensing below parts per trillion: Radiocarbon-dioxide optical detection. Physical Review Letters 107, 270802. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.270802>
- Giusfredi, G., Bartalini, S., Borri, S., Cancio, P., Galli, I., Mazzotti, D., & de Natale, P. (2010). Saturated-absorption cavity ring-down spectroscopy. Physical Review Letters 104, 110801. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.110801>

Referente: M. Giulia Delli Santi (mariagiulia.dellisanti@ino.cnr.it), Pasquale Maddaloni (pasquale.maddaloni@ino.cnr.it)

DIGITAL FABRICATION

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE
LABORATORIO: CNR-ISTI
<p>NOME STRUMENTO</p> <p>Ultimaker S5</p>
<p>INFORMAZIONI GENERALI:</p> <p>L'Ultimaker S5 è una stampante 3D professionale che offre prestazioni avanzate e una buona qualità di stampa. Questa stampante desktop utilizza la tecnologia di stampa FFF o FDM (Fused Filament Fabrication o Fused Deposition Modeling). È ideale per la stampa di oggetti a basso costo (il PLA ha un costo medio di 25€/Kg).</p> <p>Ultimaker S5 supporta una vasta gamma di materiali, compresi PLA, ABS, PETG, nylon e molti altri, offrendo una grande flessibilità nella scelta dei materiali di stampa.</p> <p>Una caratteristica dell'Ultimaker S5 è il suo sistema di estrusione a doppio ugello, che consente di stampare con due materiali diversi contemporaneamente, permettendo di produrre anche modelli bicolore con facilità.</p> <p>La sua area di stampa generosa consente di realizzare modelli di dimensioni considerevoli, con una dimensione massima di stampa di 330 x 240 x 300 mm.</p>
<p>DETTAGLI TECNICI:</p> <p>La generosa area di stampa dell'Ultimaker S5 consente di stampare oggetti di grandi dimensioni o di realizzare più parti in un'unica stampa.</p> <p>Il sistema di estrusione a doppio ugello consente, oltre alla stampa con più materiali contemporaneamente, di utilizzare un ugello con una dimensione di apertura diversa per ottenere un equilibrio tra velocità di stampa e dettagli. Questa versatilità permette di produrre modelli complessi e multicolore con facilità.</p> <p>La stampante è dotata di un touchscreen a colori da 4,7 pollici che semplifica la navigazione attraverso il menu e l'impostazione dei parametri di stampa. Inoltre, l'Ultimaker S5 offre connettività Wi-Fi e Ethernet, consentendo di inviare i file di stampa direttamente alla macchina da remoto. È anche possibile monitorare lo stato di stampa in tempo reale tramite l'applicazione Ultimaker.</p> <p>Per garantire risultati di stampa precisi e ripetibili, l'Ultimaker S5 è dotata di un sistema di livellamento automatico del piano di stampa e di un sensore di rilevamento del filamento. Questo sensore interrompe la stampa in caso di esaurimento del filamento o di eventuali interruzioni, riducendo gli sprechi e migliorando l'affidabilità complessiva del processo di stampa.</p>



Figura: UltiMaker S5

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Sito UltiMaker (caratteristiche principali, tecniche, manuali di utilizzo e materiali supportati):
<https://ultimaker.com/3d-printers/s-series/ultimaker-s5/>

Referente: Alessandro Muntoni (alessandro.muntoni@isti.cnr.it), Paolo Cignoni (paolo.cignoni@isti.cnr.it)

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-ISTI

NOME STRUMENTO

ProJet MJP 2500 Plus

INFORMAZIONI GENERALI:

La stampante 3D ProJet MJP 2500 Plus è un sistema di stampa ad alta precisione progettato per la produzione di modelli e prototipi con dettagli intricati e superfici lisce. È ideale per una stampa ultra-dettagliata e ad altissima precisione di oggetti monocolori e che possono essere rigidi o flessibili (il prezzo medio dei materiali utilizzabili è di 450€/Kg).

Utilizza la tecnologia di stampa MultiJet Printing (MJP) che sfrutta la deposizione di materiali a base di resina fotosensibile strato dopo strato.

La ProJet MJP 2500 Plus offre un'ampia gamma di materiali compatibili, tra cui resine rigide, flessibili e trasparenti, consentendo di realizzare parti con diverse proprietà meccaniche e ottiche.

La sua area di stampa generosa consente di realizzare modelli di dimensioni considerevoli, con una dimensione massima di stampa di 294 x 211 x 144 mm, con una precisione di stampa che può raggiungere fino a 16 micron.

La ProJet MJP 2500 Plus è utilizzata in diverse industrie, tra cui l'ingegneria, l'automotive, l'aerospaziale e il design. Grazie alla sua elevata precisione, versatilità e velocità di produzione, questa stampante 3D rappresenta una soluzione affidabile per la realizzazione di prototipi e parti complesse con dettagli e finiture di alta qualità.

DETTAGLI TECNICI:

La stampante 3D ProJet MJP 2500 Plus è dotata di un sistema di stampa avanzato che offre prestazioni e funzionalità di alta qualità. La macchina utilizza una testina di stampa a getto d'inchiostro multi-materiale che può essere configurata con diverse opzioni di materiali, tra cui resine rigide, flessibili e trasparenti.

La ProJet MJP 2500 Plus presenta una risoluzione di stampa di fino a 1600 x 900 x 790 DPI, ed è capace di stampare in materiali tecnici di alta gamma, elastomerici o biocompatibili rigidi, resistenti alle alte temperature, trasparenti o in vari colori opachi.

La ProJet MJP 2500 Plus è equipaggiata con il sistema MJP EasyClean, che ne permette la post-elaborazione semplificata. Questo permette di ottenere risultati privi di residui di materiali di supporto.



Figura: ProJet MJP 2500 Plus

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Sito 3DSystem: <https://it.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-2500-series>
- Brochure: <https://it.3dsystems.com/sites/default/files/2020-08/3d-systems-mjp-brochure-it-a4-2020-08-20-web.pdf>
- Elenco Materiali utilizzabili: <https://www.3dsystems.com/material-finder?printer-compatibility%5B0%5D=ProJet%20MJP%202500%2F2500%20Plus>
- Caratteristiche tecniche materiali: <https://it.3dsystems.com/sites/default/files/2021-03/3d-systems-visiJet-m2-material-selection-guide-it-a4-2020-01-08-web.pdf>
- Guida completa: https://support.3dsystems.com/s/article/projet-mjp-2500-user-guide?language=en_US

Referente: Alessandro Muntoni (alessandro.muntoni@isti.cnr.it), Paolo Cignoni (paolo.cignoni@isti.cnr.it)

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-ISTI

NOME STRUMENTO

FormLabs Form 3BL

INFORMAZIONI GENERALI:

La stampante 3D FormLabs Form 3BL è un sistema avanzato di stampa 3D che utilizza la tecnologia di stereolitografia (SLA), la Form 3BL è in grado di creare oggetti con ottima precisione e definizione dei dettagli. È ideale per la stampa di oggetti monocolori con ottimi dettagli a medio costo (i materiali hanno un costo medio di 180€/Kg).

La Form 3BL utilizza una resina fotosensibile come materiale di stampa. Durante il processo di stampa, uno speciale laser indirizzato dalla stampante viene utilizzato per indurire strato dopo strato la resina liquida. Una volta che uno strato è stato indurito, il piano di costruzione si abbassa di un piccolo valore e un nuovo strato di resina viene applicato sopra di esso. Questo ciclo si ripete fino a quando l'oggetto è completamente stampato.

Grazie alla sua alta precisione di stampa, la Form 3BL è in grado di creare modelli con dettagli intricati e superfici lisce. Inoltre, la stampante offre una vasta gamma di opzioni di materiale, consentendo agli utenti di stampare con resine specializzate per diverse applicazioni. Ciò include resine flessibili, resine resistenti agli agenti chimici e resine trasparenti.

La Form 3BL è dotata di un'interfaccia utente intuitiva che consente agli utenti di controllare facilmente il processo di stampa. È possibile caricare i file di stampa nell'unità tramite una connessione USB o tramite una connessione di rete. La stampante può essere monitorata e controllata anche da remoto utilizzando un'applicazione dedicata.

Grazie alla sua affidabilità e facilità d'uso, la FormLabs Form 3BL è ampiamente utilizzata in settori come l'ingegneria, l'architettura, il design e la produzione di prototipi. Consente agli utenti di trasformare rapidamente le loro idee in modelli fisici, accelerando il processo di sviluppo e riducendo i costi di produzione.

DETTAGLI TECNICI:

La stampante 3D Formlabs 3BL utilizza la tecnologia di stereolitografia (SLA) per la produzione di modelli tridimensionali ad alta precisione. Dotata di un laser a stato solido ad alta potenza, la Formlabs 3BL è in grado di indurire strato dopo strato di resina fotosensibile, garantendo precisione e qualità dell'oggetto stampato.

La risoluzione di stampa della Formlabs 3BL raggiunge i 25 micron, ed è dotata di una camera di stampa di 33.5 × 20 × 32 cm, consentendo la produzione di oggetti di dimensioni significative.

La Formlabs 3BL supporta una vasta gamma di resine Formlabs, tra cui resine rigide, flessibili, trasparenti e biocompatibili. Ciò offre agli utenti una maggiore flessibilità nella scelta dei materiali in base alle specifiche esigenze del progetto.

La Formlabs 3BL è caratterizzata da un sistema di post-elaborazione efficiente. Utilizzando il sistema di supporto a scorrimento estraibile, è possibile rimuovere facilmente i supporti di stampa in modo rapido e senza danneggiare il modello finale.

La post-elaborazione è effettuata con le macchine Form Wash L e Form Cure L, che permettono rispettivamente di rimuovere i residui di resina dalle parti stampate e la polimerizzazione finale dell'oggetto in modo uniforme e specifica in base al materiale utilizzato.



Figura: Form 3BL

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Sito FormLabs: <https://formlabs.com/it/3d-printers/form-3bl/>
- Caratteristiche Tecniche 3BL: <https://formlabs.com/it/3d-printers/form-3/tech-specs/>
- Elenco materiali utilizzabili: <https://formlabs.com/it/negozi/materials/?3D+Printer=5473>
- Wash L e Cure L: <https://formlabs.com/it/post-processing/wash-l-cure-l/>

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-ISTI

NOME STRUMENTO

ProJet CJP 860Pro

INFORMAZIONI GENERALI:

La stampante 3D ProJet CJP 860Pro è un sistema di stampa a colori ad alta definizione progettato per la produzione di modelli e prototipi con colori vivaci e dettagli accurati. Utilizza la tecnologia di stampa ColorJet Printing (CJP), che combina l'elaborazione a strati con l'applicazione di inchiostri a colori per creare parti tridimensionali realistiche. È ideale per la stampa di oggetti colorati (il prezzo medio dei materiali utilizzabili è di 250€/Kg).

Grazie alla sua alta risoluzione, la ProJet CJP 860Pro è in grado di produrre modelli dettagliati e accurati. Ciò rende questa stampante ideale per la creazione di prototipi funzionali, modelli architettonici, oggetti artistici e molto altro ancora.

Dotata di un'ampia area di stampa, la ProJet CJP 860Pro consente la produzione di parti di dimensioni significative o la stampa simultanea di più componenti. La ProJet CJP 860Pro trova applicazione in diversi settori, come l'architettura, il design, la produzione industriale e l'educazione. Grazie alla sua capacità di produrre modelli a colori con dettagli precisi e finiture realistiche, questa stampante 3D rappresenta una soluzione affidabile per la realizzazione di prototipi e modelli visivamente accattivanti.

DETTAGLI TECNICI:

La stampante 3D ProJet CJP 860Pro utilizza la ColorJet Printing Technology, ha un'area di stampa di 508 x 381 x 229 mm e una precisione di stampa fino a 600 x 540 DPI.

La post-elaborazione è effettuata con la macchina Cleaning Station che permette una pulizia veloce e sicura degli oggetti stampati.



Figura: ProJet CJP 860Pro

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Sito 3DSystem: <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-cjp-860pro>
- Brochure: <https://www.3dsystems.com/sites/default/files/2021-06/3d-systems-colorjet-printing-brochure-usen-2021-06-14-web.pdf>
- Elenco Materiali utilizzabili: <https://www.3dsystems.com/materials/visijet-pxl>
- Guida completa: https://support.3dsystems.com/s/article/projet-cjp-x60-instructions-for-use?language=en_US

Referente: Alessandro Muntoni (alessandro.muntoni@isti.cnr.it), Paolo Cignoni (paolo.cignoni@isti.cnr.it)

FLUORIMETRY

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Fotofisica

NOME STRUMENTO

SPETTROFLUORIMETRO CON DETECTOR NIR-PMT

INFORMAZIONI GENERALI:

Luminescenza steady-state e time-resolved nell'Infrarosso

DETTAGLI TECNICI:

Rivelazione della luminescenza e dei relativi tempi di vita per campioni liquidi (in cuvetta da 3.5 ml) e solidi su supporto (2.5x 2.5 cm) nella regione dell'Infrarosso fino a 1.700 nm attraverso un doppio monocromatore. Sorgenti continue (Xe Lamp 450 W) e pulsate (Laser diode 405-515-635 nm con scale temporali dal nanosecondo al secondo) per l'eccitazione. La strumentazione misura campioni liquidi e solidi con le specifiche sopra indicate. Il tempo per ogni misura è indicativamente di 2 minuti (variabile a seconda delle condizioni scelte).

MAGGIORI INFORMAZIONI:

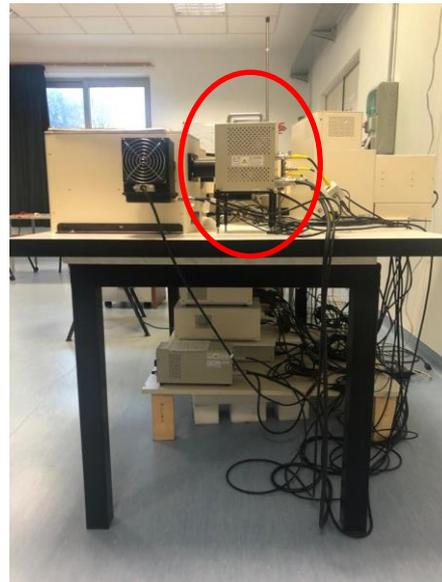
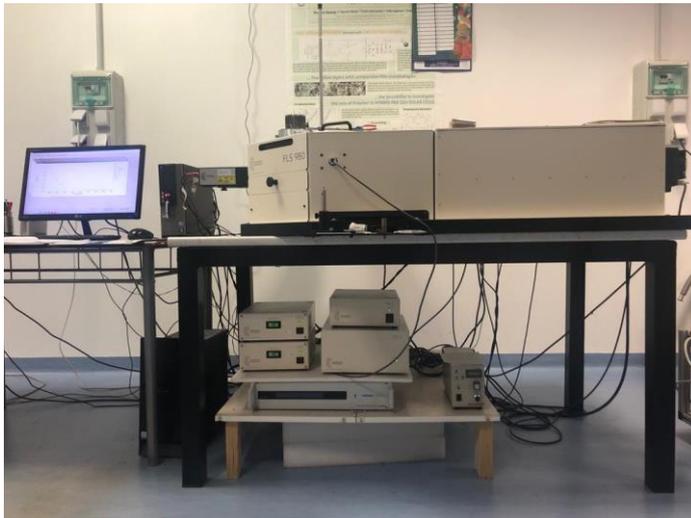


Foto dello spettrofluorimetro che ospita il NIR-PMT (indicato dal cerchio nel riquadro di destra)

L'attività di ricerca dell'assegnista si è focalizzata sulla preparazione di azocomposti con proprietà ottiche modulate da diversi gruppi amminici che possono risultare di interesse come coloranti per pitture.

Referente: Gianluca Accorsi email: gianluca.accorsi@nanotec.cnr.it

IMAGING TECHNIQUES

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Spettrometro per Imaging nel Dominio del Tempo alle frequenze dei Terahertz (THz-TDI):
TeraASOPS Menlo Systems

INFORMAZIONI GENERALI:

L'imaging spettroscopico nel dominio del tempo alle frequenze dei terahertz (THz-TDI) è una tecnica all'avanguardia fra quelle attualmente usate per lo studio dei Beni Culturali e fornisce informazioni sulla stratigrafia e sulla composizione di un campione in modo del tutto non invasivo. La radiazione alle frequenze dei THz è, infatti, non ionizzante e capace di penetrare, per profondità dell'ordine di qualche millimetro, nella maggior parte dei materiali non metallici e può essere usata per effettuare misure sia in trasmissione sia in riflessione.

Le misure THz-TDI in riflessione, effettuate lungo più linee di misura, consentono di acquisire un cubo di dati da cui, mediante opportune tecniche di elaborazione dati, si ottengono informazioni sulle caratteristiche superficiali e sub-superficiali dell'oggetto in esame lungo ciascuna delle tre sezioni spaziali, ovvero nei piani (x-y), (x-z) e (y-z).

Le misure THz-TDI in trasmissione consentono sia di generare immagini bi-dimensionali del campione sia di effettuare analisi spettroscopiche finalizzate all'identificazione dei materiali costituenti e possono essere effettuate quando lo spessore e le caratteristiche del campione sono tali da consentire la trasmissione del segnale.

Alcuni esempi di applicazione sono l'identificazione di ridipinture, ripensamenti e disegni preparatori, lo studio della stratigrafia di manufatti decorati (ceramiche invetriate, malte, lacche, dipinti), l'individuazione di distacchi, fessure e difetti otticamente non visibili, la caratterizzazione di materiali plastici e compositi.

DETTAGLI TECNICI:

Lo spettrometro trasportabile TeraASOPS della Menlo Systems disponibile presso il FIXLAB consente di effettuare misure sia in riflessione che in trasmissione. Tale sistema sfrutta il principio dell'*asynchronous optical sampling* (ASOPS) grazie all'uso di due sorgenti laser ultraveloci a femtosecondi collegati all'antenna trasmittente e a quella ricevente tramite fibre ottiche.

Il sistema di generazione e acquisizione del segnale THz è compatto ed integrato in un'unica unità. Ad esso è associato un sistema di scansione bidimensionale, la cui massima area di scansione è 30 x 30 cm².

La finestra spettrale nominale del sistema è di 4.5 THz e l'intervallo di scansione nel dominio del tempo è di 10 ns. Il rapporto fra segnale e rumore è > 70 dB (con differenza in frequenza = -10 Hz, sampling rate = 10MHz, gain = 10^6 , larghezza di banda = 1.8 MHz, 1000 medie).

La risoluzione laterale della misura è determinata dalla dimensione dell'impulso THz nel punto di focalizzazione, che è di circa 1.5 mm, e dal passo del sistema di scansione, che non può essere inferiore a 0.1 mm. La risoluzione in profondità dipende dalla larghezza della banda utile del sistema ed è uguale a circa 0.5 ps, corrispondenti a 60 μ m (in aria).

La massima profondità di indagine è di 7.5 mm (in aria).

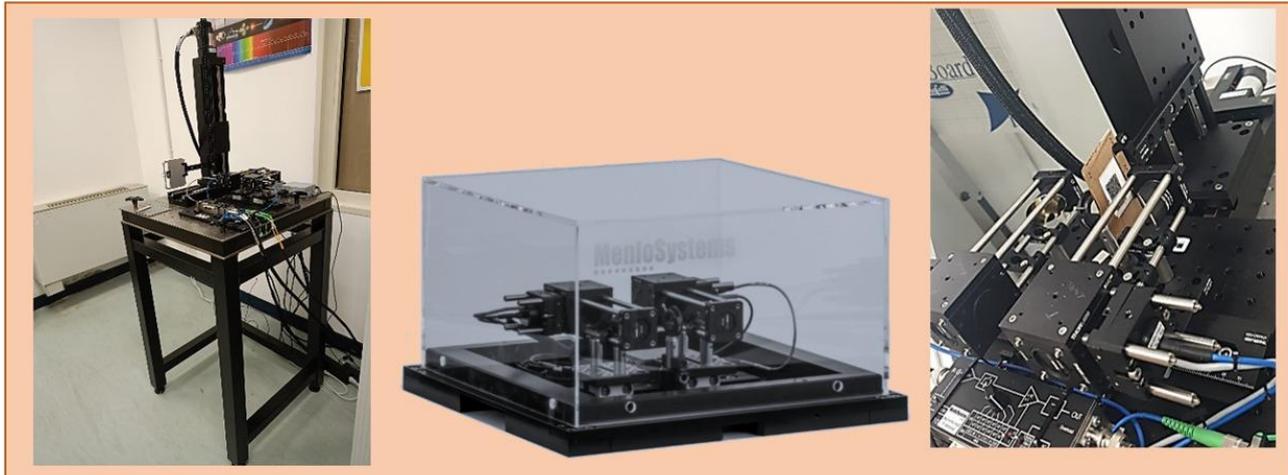


Figura 1: (a) A sinistra, lo spettrometro THz-TD TeraASOPS in laboratorio, al centro il sistema di trasmissione con copertura per analisi di spettroscopia e a destra uno zoom sul set-up.

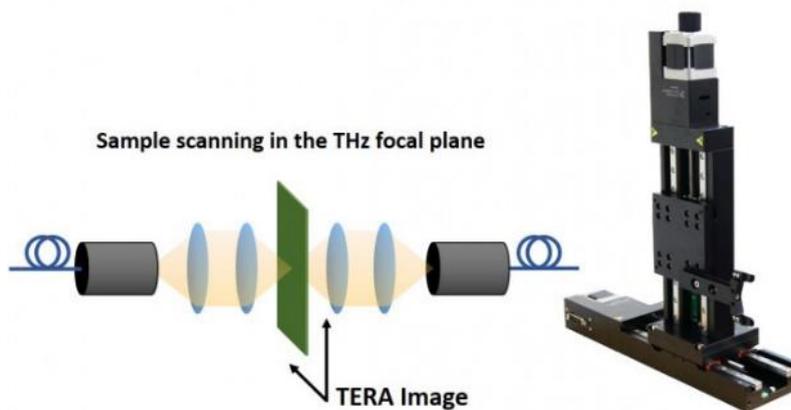


Figura 2: Schema del set up per le misure di spettroscopia in trasmissione.

ULTERIORI INFORMAZIONI:

- Fukunaga, K. (2016) THz Technology Applied to Cultural Heritage in Practice. Tokyo: Springer Japan (Cultural Heritage Science).
<https://doi.org/10.1007/978-4-431-55885-9>.
- Jackson, J.B. et al. (2011) 'A Survey of Terahertz Applications in Cultural Heritage Conservation Science', IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 1(1), pp.220–231.
<https://doi.org/10.1109/TTHZ.2011.2159538>.
- Y.-S. Lee, Principles of Terahertz Science and Technology, New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2009
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-09540-0>

MASS SPECTROMETRIES

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

GC-MS ad alta risoluzione e Py-GC-MS



INFORMAZIONI GENERALI:

Gas cromatografo accoppiato ad uno spettrometro di massa ad alta risoluzione (GC-HRMS) con tecnologia Orbitrap utile per l'analisi di materiali organici (ad es. glicerolipidi, cere naturali, materiale proteico, resinoso e polisaccaridico). L'abbinamento del pirolizzatore al GC-MS consente di caratterizzare macromolecole (ad es. resine naturali e sintetiche) tramite il riconoscimento dei prodotti ottenuti dalla pirolisi.

DETTAGLI TECNICI GC-MS:

- Intervallo di massa: da 30 a 3000 m/z
- Risoluzione: 100000 a m/z =272
- Accuratezza di massa: interna < 1ppm RMS; estera <3 ppm RMS
- Sorgente per ionizzazione elettronica (EI)
- Sorgente per ionizzazione chimica (CI)
- Velocità di scansione: fino a 18 Hz con impostazione della risoluzione di 12.500 a m/z 272
- Sensibilità: ppt

DETTAGLI TECNICI PIROLIZZATORE:

- Quattro tecniche analitiche disponibili:
 1. Evolved Gas Analysis (EGA-MS)
 2. Single-shot analysis
 3. Double-shot analysis
 4. Heart-cut EGA-GC/MS (HC/EGA-GC/MS)
- Intervallo di controllo della temperatura del forno/stabilità della temperatura: temperatura ambiente da +10 a 1050 °C (incrementi di 1 °C) / entro ± 0,1 °C
- Tasso di riscaldamento del forno di riscaldamento: massimo 600 °C/min (ogni 1 °C/min)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

L'analisi GC-MS prevede una preparazione del campione (~ 0.1 mg), diversificata a seconda dei materiali che si vogliono caratterizzare (lipidi, proteine, polisaccaridi), che viene introdotto tramite autocampionatore. L'analisi in Py-GC-MS consente di analizzare il campione tal quale o dopo reazione di derivatizzazione che viene introdotto nel GC tramite autocampionatore.

Referente: Giulia Germinario

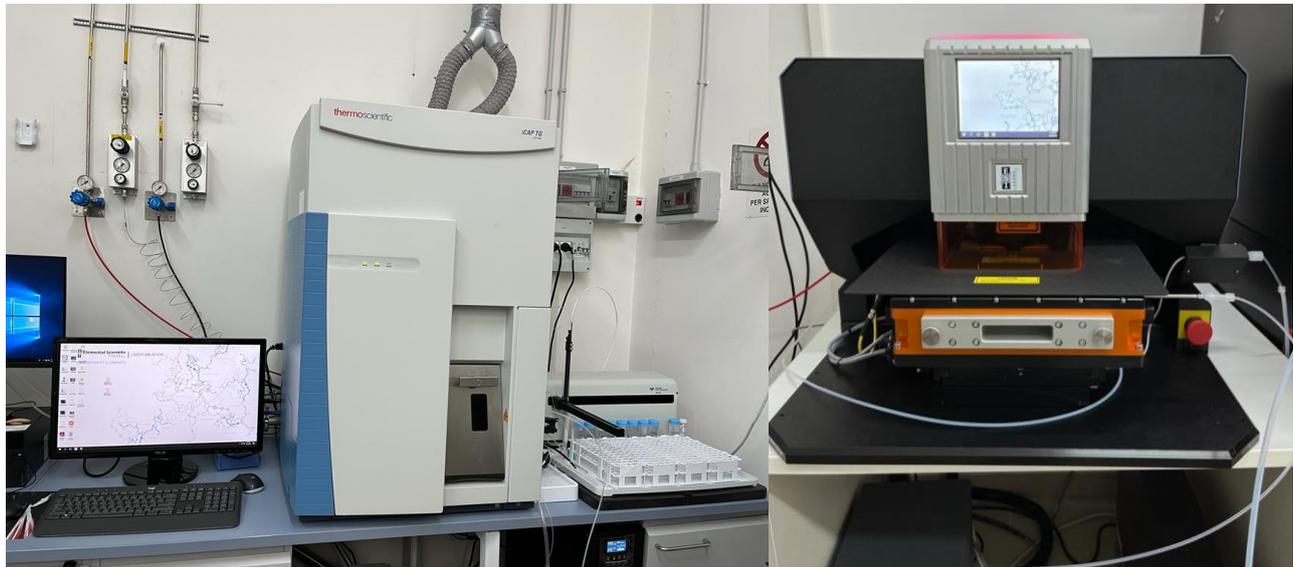
Email: giulia.germinario@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: SPETTROMETRO DI MASSA ICP-MS ABBINATO A LASER ABLATION

LABORATORIO: Stone Lab E-RHIS FIXLABS -Sezione di Chimica

NOME STRUMENTO

Spettrometro iCAP™ TQ ICP-MS (Thermo-Fisher Scientific) accoppiato al sistema di ablazione laser NWR213 (Elemental Scientific Lasers-ESI)



INFORMAZIONI GENERALI:

Spettrometro di Massa al Plasma Accoppiato Induttivamente con Ablatore Laser (LA-ICP-MS) con rivelatore a Triplo Quadrupolo (TQ) per l'analisi di materiali inorganici metallici e non metallici, solubilizzati o solidi. Il sistema di Ablazione Laser consente inoltre di effettuare l'imaging chimico ad alta risoluzione.

DETTAGLI TECNICI iCAP™ TQ ICP-MS:

- Sistema a Triplo Quadrupolo in grado di ridurre significativamente le interferenze;
- Sensibilità strumentale: ${}^7\text{Li} \geq 65$ (Mcps/ppm)
- Detection Limits: ${}^{32}\text{S}$ (come SO^+) < 200ppt; ${}^{31}\text{P}$ (come PO^+) < 50ppt; ${}^{78}\text{Se}$ < 1ppt;
- Precisione nella determinazione del rapporto isotopico: ${}^{107}\text{Ag}/{}^{109}\text{Ag}$ < 0.1 (% RSD); ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr} \leq 0.2$ (% RSD);
- Funzionamento a 3 canali di gas in base alle modalità di misura (He , O_2 , NH_3);
- Torcia al quarzo;
- Nebulizzatore concentrico a basso flusso;
- Pompa peristaltica a quattro vie;
- Camera di nebulizzazione raffreddata per effetto Peltier;
- Sistema di vuoto ($< 1 \times 10^{-6}$ mbar)

DETTAGLI TECNICI NWR213:

- Sorgente laser Nd:YAG@213 nm Q-Switched omogeneizzata e stabilizzata;
- Energia dell'impulso laser: > 6 mJ/pulse;
- Durata dell'impulso: < 4ns;
- Frequenza di ripetizioni degli impulsi variabile da 1 Hz a 20 Hz;

- Spot a controllo flessibile: spot circolari e rettangolari da 4 a 250 μm con incrementi di 1 μm .
- Dimensioni della camera di ablazione: 150 x 150 x 20 mm (L x P x H);
- Movimenti dello stage lungo x,y: 100mm x 100 mm, con risoluzione < 1 μm .
- Dual concentric injector all'interfaccia con ICP-MS per un washout ultraveloce della camera (0,7 s) per l'imaging chimico ad alta risoluzione.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Analisi chimiche quantitative di materiali impiegati nel settore dei Beni Culturali (prodotti di degrado, vetri, metalli, lapidei, ceramici etc.), determinazione dei rapporti isotopici e degli elementi in tracce per studi di provenienza.

Referente: Giorgia Di Fusco

Email: giorgia.difusco@ispc.cnr.it

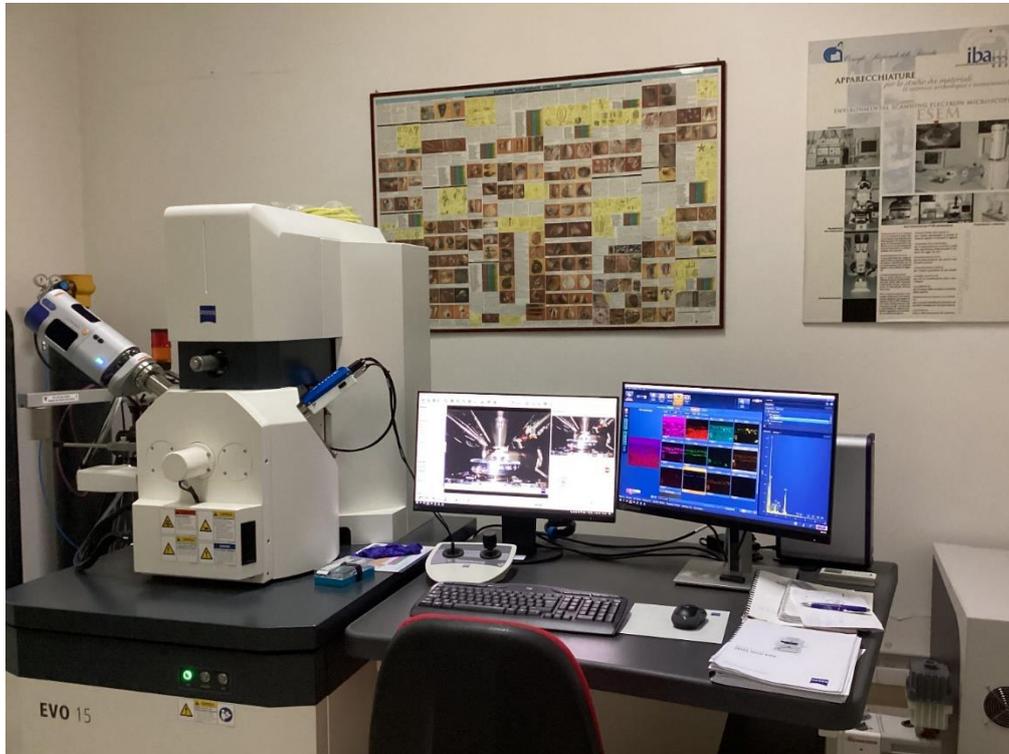
MICROSCOPIES

STRUMENTAZIONE FIXLAB: Microscopio SEM-EDX a pressione variabile

LABORATORIO: STONE LAB E-RHIS FIXLAB – Sezione Microscopia Elettronica

NOME STRUMENTO

Microscopio SEM-EDX a pressione variabile



INFORMAZIONI GENERALI:

Microscopio elettronico a scansione con possibilità di analisi a pressione variabile.

DETTAGLI TECNICI:

Sorgente ad emissione Tungsteno. Risoluzione garantita in modalità SE, a distanza di lavoro ottimale e senza applicazione di polarizzazione al campione, di almeno < 4 nm a 30 kV. Detector di elettroni secondari e backscatterati e catodoluminescenza a 4 canali.

Corredato di sistema di microanalisi OXFORD con rivelatore Ultim MAX 40 mm² e piattaforma software AztecLIVE.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Referente: Giovanni QUARTA, email: giovanni.quarta@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Microscopia Elettronica

NOME STRUMENTO

PIATTAFORMA DI MICROSCOPIA CORRELATIVA

INFORMAZIONI GENERALI:

Microscopio elettronico a scansione a emissione di campo ad altissima risoluzione con possibilità di analisi a pressione variabile.

DETTAGLI TECNICI:

Sorgente ad emissione di campo di tipo Schottky. Risoluzione garantita in modalità SE, a distanza di lavoro ottimale e senza applicazione di polarizzazione al campione, di almeno 2 nm a 15 kV e 2.5 nm a 1kV. Detector di elettroni secondari e backscatterati.

MAGGIORI INFORMAZIONI:



Dimensioni massime dei campioni: fino a wafer 4''

Tempo medio di misura: 2 ore

Alcune applicazioni: lo strumento può essere utilizzato per lo studio morfologico di nanoparticelle che hanno suscitato negli ultimi 10 anni un enorme interesse in diversi settori delle scienze applicate, delle scienze umane e del patrimonio culturale. Infatti, l'applicazione di nuovi materiali nanostrutturati e dispositivi nanometrici per la diagnostica, la conservazione, il monitoraggio e la manutenzione del patrimonio culturale ha fatto parte dell'attività svolta durante l'anno di attività.

Referente: Massimo Cuscunà email: massimo.cuscuna@nanotec.cnr.it

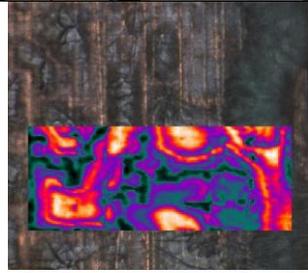
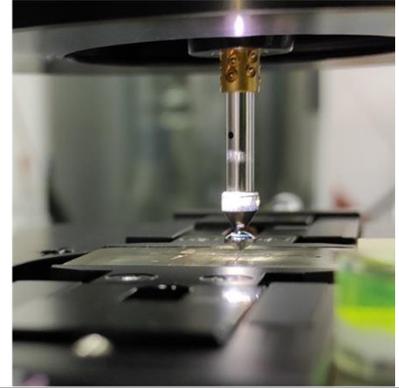
MOLECULAR SPECTROSCOPIES

STRUMENTAZIONE FIXLAB: microscopio e unità macro FTIR

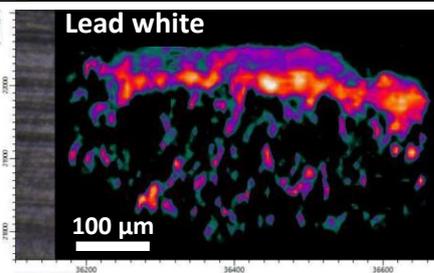
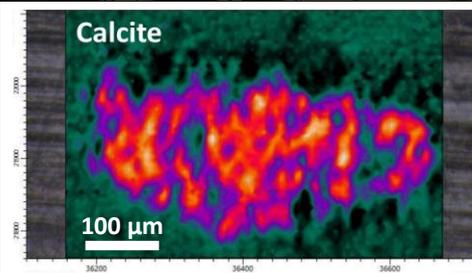
LABORATORI: Stone LAB - Lecce; Heritage Materials Science - Firenze

NOME STRUMENTO

Microscopio FT-IR e macro FT-IR



Prodotti di corrosione su rame



Strati pittorici su sezione lucida (dimensioni del campione <0,5 mm)

INFORMAZIONI GENERALI

Lo strumento si compone di due distinti moduli integrati:

- il microscopio FT-IR LUMOS II dotato di rivelatore Focal Plane Array (FPA) che consente l'acquisizione di immagini chimiche in ATR, riflessione e trasmissione;
- l'unità macro FT-IR INVENIO R che permette analisi spettrali in trasmissione e ATR su composti organici e inorganici.

Lo strumento di microscopia infrarossa completo di unità macro FT-IR è impiegato per la caratterizzazione chimica di materiali e prodotti conservativi organici ed inorganici impiegati nel settore dei Beni Culturali, il riconoscimento dei prodotti di degrado, lo studio dei processi di degrado, l'identificazione di coatings e di finiture superficiali e lo studio di reperti archeologici.

Il *chemical imaging* ottenuto con rivelatore FPA consente di caratterizzare e visualizzare la distribuzione dei composti in un dato campione, con alta risoluzione spaziale, rapidità (più di mille spettri in un secondo) e sensibilità. Ciò consente, ad esempio, di ricostruire la stratigrafia di campioni anche molto piccoli e con strati pittorici molto sottili (fino a 5 µm di spessore), ed evidenziare così la tecnica esecutiva.

DETTAGLI TECNICI MICRO FT-IR LUMOS II:

- Range spettrale: 80- 4000 cm⁻¹
- Spessore minimo dei campioni alloggiabili: 30 mm;
- Distanza minima di lavoro: 25 mm;
- Apertura numerica minima nell'IR dell'obiettivo/condensatore Cassegrain: 0.5;
- Modalità di analisi in trasmissione;
- Modalità di analisi in riflessione;

- Modalità di analisi in ATR con cristallo in Germanio;
- Rivelatore integrato a temperatura ambiente (TE-MCT);
- Rivelatore a singolo punto raffreddato con azoto (LNMCT)
- Rivelatore raffreddato con azoto FPA dedicato all'analisi in modalità imaging integrata;

DETTAGLI TECNICI MACRO FT-IR INVENIO R:

- Range spettrale: 400-4000 cm^{-1}
- Modalità di analisi in trasmissione;
- Modalità di analisi in ATR con cristallo in diamante;

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Il micro FT-IR è dotato di:
 - Automazioni del sample stage lungo i tre assi spaziali con interfaccia software, per applicazioni di Chemical Imaging e Mapping ATR;
 - Condensatore motorizzato, con messa a fuoco automatica, sia nel visibile sia nell'IR;
 - Obiettivo/Condensatore "Cassegrain" ad alta apertura numerica nell'IR;
 - Polarizzatore e analizzatore per luce visibile;
 -

Referente: Daniela Fico (Lecce); Barbara Salvadori (Firenze)

Email: daniela.fico@ispc.cnr.it; barbara.salvadori@cnr.it

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Micro-Raman (Renishaw inVia Qontor)

INFORMAZIONI GENERALI:

Nel campo dei Beni Culturali la spettroscopia Raman rappresenta una delle tecniche di elezione per la caratterizzazione dei pigmenti (inorganici ed organici) impiegati per la realizzazione di dipinti, pitture murali e oggetti decorati. Il vantaggio di questa tecnica consiste nella possibilità di identificare in modo univoco il tipo di molecola in esame, e di conseguenza il tipo di pigmento.

I risultati che si ottengono permettono di ricostruire la tecnica esecutiva con cui è stata realizzata l'opera, oltre che il suo stato di conservazione. Infatti, oltre alla tavolozza pittorica, si possono ricavare informazioni anche sulla presenza di prodotti di degrado o di sostanze applicate sulla superficie dei beni per fini conservativi.

Lo strumento disponibile è un micro-Raman, ossia uno spettrometro Raman accoppiato ad un microscopio ottico, con cui è possibile effettuare analisi ad elevata risoluzione laterale (al di sotto di 1 μm), ideale per la caratterizzazione di materiali eterogenei alla scala micrometrica come quelli relativi ai Beni Culturali. È possibile eseguire sia misure puntuali che mappature in due dimensioni, le quali forniscono informazioni circa la distribuzione dei diversi composti sulla superficie dell'oggetto in analisi.

Al fine di ricavare informazioni anche delle porzioni più interne in modo non-invasivo è stato sviluppato un metodo, micro-Spatially Offset Raman Spectroscopy (micro-SORS), in grado di rilevare la presenza di composti situati al di sotto della superficie con risoluzione compresa nel range dei micrometri. Lo strumento è ottimizzato per eseguire misure micro-SORS che consistono nell'acquisizione di spettri Raman a diverse distanze (*offset*) rispetto al punto di incidenza del laser, operazione che permette di rilevare fotoni Raman generati più in profondità e che riemergono lateralmente in superficie. L'interpretazione degli spettri micro-SORS consente, ad esempio, di ricostruire la successione stratigrafica di un dipinto o la presenza di prodotti di degrado al di sotto della superficie.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento è un sistema micro-Raman Renishaw in Via Qontor, dotato di un detector CCD di tipo “NIR enhanced” raffreddato con cella Peltier ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), di un microscopio Leica DM2700, un laser con lunghezza d’onda 785 nm e risoluzione spettrale di $1\text{-}2\text{ cm}^{-1}$. È possibile raccogliere spettri Raman convenzionali utilizzando obiettivi da microscopio (5x, 20x, 50x e 100x) focalizzando il laser sulla superficie del campione; la risoluzione laterale con l’obiettivo 100x è inferiore a $1\text{ }\mu\text{m}$.

Le analisi micro-SORS in modalità *defocusing* vengono effettuate acquisendo spettri Raman a distanze (Δz) progressivamente maggiori tra la superficie del campione e l’obiettivo del microscopio. La movimentazione micrometrica è realizzata utilizzando un micro-stage motorizzato controllato dal software dello strumento (WiRE).

Il braccio esterno, che permette misurazioni in modalità *full micro-SORS*, è montato su uno stage micrometrico motorizzato con cui è possibile impostare offset laterali (Δx) con alta precisione e riproducibilità. Il laser è focalizzato sul campione attraverso un obiettivo SLWD 20X (WD 30,5 mm) che è montato a circa 38° rispetto alla normale al piano di incidenza. Per la raccolta di fotoni Raman viene utilizzato un obiettivo LWD 20X (WD 6,9 mm) (Fig.1).

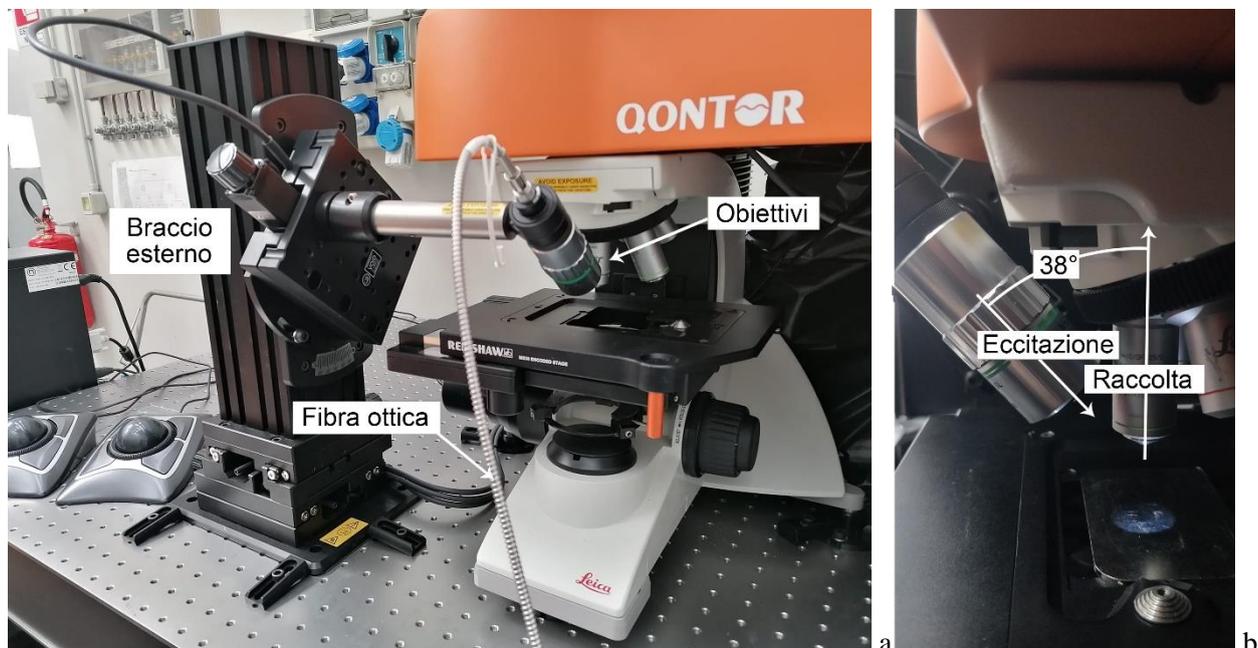


Fig.1 Micro-Raman Renishaw InVia Qontor con braccio esterno: (a) vista completa dello strumento e (b) ingrandimento della zona di eccitazione-raccolta.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Mosca, S., Conti, C., Stone, N. and Matousek, P., 2021. Spatially offset Raman spectroscopy. *Nature Reviews Methods Primers*, 1(1), 21.
- Conti, C., Botteon, A., Colombo, C., Pinna, D., Realini, M. and Matousek, P., 2020. Advances in Raman spectroscopy for the non-destructive subsurface analysis of artworks: Micro-SORS. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 31.
- Vieira, M., Melo, M.J., Conti, C. and Pozzi, F., 2024. A combined approach to the vibrational characterization of medieval paints on parchment: Handheld Raman spectroscopy and micro-SORS. *Journal of Raman Spectroscopy*. *Journal of Raman Spectroscopy*, <https://doi.org/10.1002/jrs.6632>.

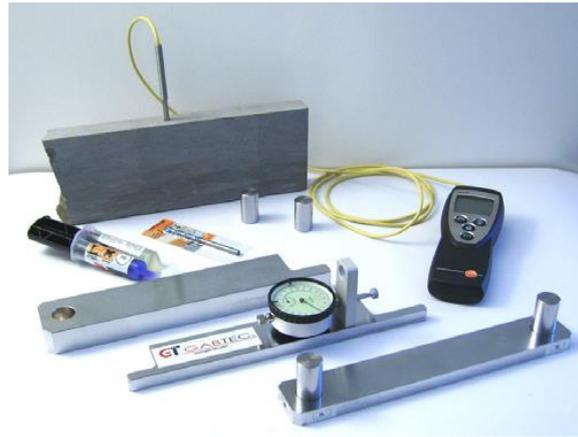
PHYSICAL CHARACTERIZATION

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

Strumentazione per prove diltometriche (DIL 402 Expedis Select Netzsch, GT1170 Gabrielli Technology)



INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione comprende due apparecchiature per le misure dei cambiamenti dimensionali dei materiali con la temperatura. La prima è un dilatometro DIL 402 Expedis Select Netzsch, idoneo a misurare le variazioni dimensionali di campioni di piccole dimensioni (fino a 52 mm di lunghezza e 19 mm di diametro). La seconda apparecchiatura (GT1170 Gabrielli Technology) si utilizza per campioni di dimensioni maggiori in accordo con la UNI EN 14581 per le misure di dilatazione termica su materiali lapidei.

DETTAGLI TECNICI DIL 402 EXPEDIS SELECT NETZSCH:

- Tecnologia “pushrod” orizzontale con sistema di misura singolo;
- Determinazione automatica della lunghezza iniziale del campione;
- In grado di operare su campioni di lunghezza almeno compresa tra 1 e 52 mm e diametro 12 mm (oppure 19 mm);
- Intervallo di misura da -10 mm a +10 mm;
- Forza di contatto regolabile nell’intervallo da 10mN a 3N;
- Risoluzione della misura di lunghezza: 1nm;
- Intervallo di temperatura da 0°C a 1000°C;
- In grado di operare in atmosfera inerte o in aria.

DETTAGLI TECNICI DILATOMETRO GT1170 Gabrielli Technology

- sistema di misura meccanico per rilevare la variazione della distanza tra due cilindri ($K=13,5 \times 10^{-6}$ da 20°C e 80°C)
- termometro digitale con due canali per termocoppia K

MAGGIORI INFORMAZIONI:

DIL 402 EXPEDIS Select Netzsch è dotato di un sensore optoelettronico che consente la misura automatica delle dimensioni del campione. Questa funzione è utile nel caso di campioni di forma irregolare dal momento che si evita l’utilizzo di altre apparecchiature di misura, possibile fonte di

errore. L'attrezzatura è dotata inoltre di un sistema di contatto con il provino a forza variabile per poter analizzare anche materiali fragili o soffici.

Nel caso del dilatometro GT1170 la prova consiste nel porre il provino di dimensioni 250x50x20 mm in una cella con controllo di temperatura (gradiente 0,2°C /min) per eseguire il ciclo termico. La misura della lunghezza del campione avviene manualmente con un comparatore meccanico (risoluzione 1/1000 della lunghezza da misurare) a 20°C e a 80°C (se necessario ogni 20 °C).

Referente: Emilia Vasanelli

Email: emilia.vasanelli@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

Reometro-DMA (MCR 702 e MultiDrive Anton Paar)



INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione consiste in un reometro-DMA (Dynamic Mechanical Analysis), modello MCR 702e MultiDrive (Anton Paar GmbH, Graz, Austria), dotato di due dispositivi termici a convenzione (CTD180 HR e CTD600 MRD). Il reometro esegue l'analisi delle proprietà viscoelastiche dei materiali ed è accoppiato ad un'unità lineare per eseguire l'analisi dinamica meccanica (DMA) in modalità di flessione, tensione o compressione, test di creep, prove di rilassamento e analisi termomeccaniche. Lo strumento è dotato inoltre di due dispositivi termici per eseguire le analisi in diversi range di temperatura e umidità relativa.

DETTAGLI TECNICI MCR 702e MultiDrive:

- Dimensioni di 444mm x 753mm x 586 mm (W x H x D);
- Peso di 56 Kg;
- Funzionamento con aria compressa con pressione consigliata di 6 bar (min. 5 bar, max. 10 bar);
- Consumo di aria senza accessori 2,4 m³N/h, completo di accessori 5,4 m³N/h
- Alimentazione elettrica AC da 100 fino a 230 V;
- Frequenza da 50 a 60 Hz;
- Intervallo di coppia da 0,5 nNm a 230 nNm;

- Velocità massima di 6000 giri/min per applicazioni di taglio elevato;
- Funzionamento con motore EC in modalità trasduttore a motore combinato (CMT);
- Software RheoCompass;
- Geometrie per analisi DMA di tensione, torsione, flessione.

DETTAGLI TECNICI CTD 180 HR:

- Temperatura di funzionamento da 5 °C a 120 °C;
- Intervallo di umidità dal 5 % al 95 %.

DETTAGLI TECNICI CTD 600 MRD:

- Temperatura di funzionamento da -160 °C a 600 °C;

MAGGIORI INFORMAZIONI:

L'apparecchiatura effettua l'analisi delle proprietà reologiche, viscoelastiche e termiche di liquidi, solidi, polveri, polimeri, slurry, in funzione di parametri quali temperatura, tempo, frequenza, sollecitazione, atmosfera o combinazione di questi.

Referente: Emilia Vasanelli

Email: emilia.vasanelli@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

Strumentazione per prove di durezza superficiale (durometro Erichsen mod.413, EQUOTIP 550 Durometro Portatile, Sclerometro a PENDOLO OS-120PM, Sclerometri “Schmidt LIVE”)



INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione comprende:

- Sclerometri per prove su elementi lapidei naturali, calcestruzzo e giunti di malta a diverse energie di impatto per adattarsi a campioni di diverse dimensioni e durezza superficiali
- durometro portatile a rimbalzo con tecnologia Leeb
- durometro per prove di resistenza al graffio

DETTAGLI TECNICI SCLEROMETRI:

- Sclerometro originale “Schmidt LIVE” di tipo N con energia di impatto di 2,207 Nm, dotato di display grafico, durata batteria non inferiore a 5000 impatti e di interfaccia per esportazione dati su PC
- Sclerometro originale “Schmidt LIVE” di tipo L con energia di impatto di 0,735 Nm, dotato di display grafico, durata batteria non inferiore a 5000 impatti e di interfaccia per esportazione dati su PC
- Sclerometro a PENDOLO OS-120PM per malte con energia di impatto di 0.833 Nm e diametro massimo della massa impattante 1cm

DETTAGLI TECNICI DUROMETRI:

- durometro portatile a rimbalzo con tecnologia Leeb per misure di durezza su materiali lapidei, EQUOTIP 550 Durometro Portatile con “Strumento di battuta completo tipo "D"”

- durometro per prove di resistenza al graffio, per determinare durezza, aderenza e resistenza al graffio di finiture su superfici verniciate, smaltate o con coating; Apparecchio universale mod.413 Erichsen.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

I diversi strumenti misurano la durezza superficiale dei materiali. La scelta dello strumento da impiegare dipende dalle caratteristiche fisico/meccaniche del materiale, dalle dimensioni del campione e dalla finitura superficiale.

Referente: Emilia Vasanelli

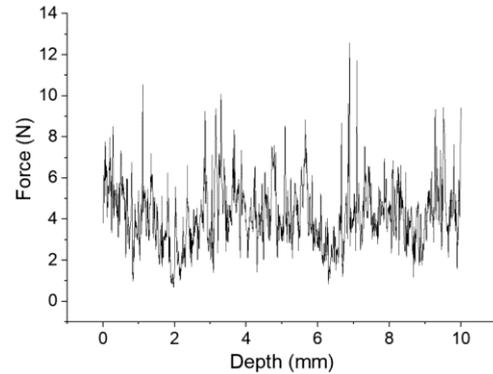
Email: emilia.vasanelli@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO:

Drilling resistance measuring system (DRMS Cordless Sint technology)



INFORMAZIONI GENERALI:

Lo strumento per la misura della resistenza alla foratura DRMS Cordless (Drilling Resistance Measurement System) è un sistema automatico che misura la forza necessaria per forare un materiale, mantenendo costanti le velocità di rotazione e avanzamento della punta durante tutto il processo di foratura.

DETTAGLI TECNICI:

Velocità di rotazione tra 20 e 1000 RPM

Velocità di avanzamento tra 1 e 80 mm /min

Profondità di analisi (e corsa dello strumento) fino a 50mm dalla superficie

Punte diamantate speciali, con diametro tra 3 e 10mm

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Lo strumento consente di misurare la resistenza alla perforazione di materiali lapidei. Esso registra la forza opposta dal materiale all'avanzare della punta per tutto lo spessore del foro. Attraverso opportuna elaborazione dei risultati è possibile avere informazioni sulle caratteristiche fisico/meccaniche del materiale. Pertanto è possibile confrontare la risposta di materiali diversi, valutare l'effetto di trattamenti consolidanti, verificare la presenza di sali all'interno del materiale, valutare l'entità dei processi di degrado.

Referente: Emilia Vasanelli

Email: emilia.vasanelli@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

Strumentazione per prove di aderenza (PULL-OFF DY-206)



INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione per prove di Pull Off consente di valutare l'adesione di malte e rivestimenti al substrato lapideo.

DETTAGLI TECNICI:

- Working Range: 0.3 to 3.1 MPa (44 to 443 psi)
- Tensile force (50 mm test disc): 0.6 to 6 kN (135 to 1349 lbf)
- Maximum Stroke: 5 mm
- Maximum Pulling Speed: 4.65 mm/min (0.183 inch/min)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Test di aderenza automatizzato per applicazioni a bassa resistenza, particolarmente indicato per malte e intonaci.

Referente: Emilia Vasanelli

Email: emilia.vasanelli@cnr.it

STRUMENTAZIONE FIXLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: Stone LAB

NOME STRUMENTO

Strumentazione per misura della velocità degli ultrasuoni (PUNDIT PL-200 e PUNDIT PD8050)



INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione comprende due apparecchi di misura:

- PUNDIT PL-200, corredata di trasduttori a diverse frequenze;
- PUNDIT PD8050 con tecnologia pulse-echo e trasduttore di tipo array multi-canale

Il PUNDIT PL 200 consente di misurare la velocità degli ultrasuoni all'interno del materiale in trasmissione. Il PUNDIT PD 8050 è un tomografo ad ultrasuoni che funziona in modalità pulse-echo consentendo, oltre alle misure di velocità delle onde S all'interno del materiale, anche di rilevare la presenza di difetti e disomogeneità, restituendone l'immagine bidimensionale e tridimensionale.

DETTAGLI TECNICI PUNDIT PL 200:

Lo strumento PUNDIT PL-200 è dotato di trasduttori a diverse frequenze:

- 2 trasduttori 24 kHz
- 2 trasduttori 150 kHz
- 2 trasduttori 250 kHz

2 trasduttori 500 kHz

2 trasduttori esponenziali 54kHz

Larghezza di banda da 20 a 500 kHz, Risoluzione di misurazione 0.1 us, Tensione di impulso ± 100 a ± 450 V (UPV), Ricevitore Guadagno 1 a 10.000x (da 0 a 80 dB) Frequenza nominale del trasduttore 24 – 500 kHz

DETTAGLI TECNICI PUNDIT PD8050:

Bandwidth 20 - 80 kHz, Technology Multi-channel Ultrasonic Pulse Echo, Measuring Resolution 1 us, Pulse Voltage ± 50 to ± 150 V (UPE), Receiver Gain 1 to 10.000 (0 to 80 dB)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

La strumentazione PUNDIT PD8050, combinata con la strumentazione PUNDIT PL-200, consente:

- l'esecuzione di misure in modalità "Pulse Echo" per la verifica della presenza di difetti in campioni omogenei di elementi lapidei naturali ed artificiali attraverso un trasduttore di tipo Array con tecnologia Multi-canale Ultrasonic Pulse Echo;
- La misura della velocità delle onde S all'interno del materiale e la determinazione dello spessore dello stesso nota la velocità delle onde S;
- l'esecuzione di misure delle velocità degli ultrasuoni in trasmissione con trasduttori a diverse frequenze (24 kHz, 54 kHz, 150 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 54 kHz esponenziali) per poter analizzare materiali lapidei di diverse caratteristiche e dimensioni. La velocità degli ultrasuoni è correlata alle caratteristiche fisico/meccaniche dei materiali e pertanto la sua stima consente di confrontare le caratteristiche di materiali diversi, valutare l'effetto di trattamenti di consolidamento e l'entità dei processi di degrado/alterazione.

Referente: Emilia Vasanelli

Email: emilia.vasanelli@cnr.it

CATALOGO DEI SERVIZI MOLAB

SPOT ANALYSES

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Bioluminometro 3M™ Clean-Trace™ NG Luminometer, Swabs 3M Clean-Trace Surface3M™, Clean-Trace™ Water

INFORMAZIONI GENERALI:

Il bioluminometro è uno strumento che permette di verificare istantaneamente la contaminazione microbica di una superficie o di un liquido, grazie a una reazione di bioluminescenza.

Il bioluminometro "legge" un segnale luminoso che viene emesso da un tampone che è stato passato sulla superficie contaminata o nell'acqua da analizzare. Durante il campionamento, il tampone raccoglie una molecola cellulare, l'ATP (adenosina trifosfato) presente in tutti gli organismi vivi. Quando l'ATP viene posta in contatto con il mix di reazione presente nel tampone (contenente luciferina e luciferasi), si svolge una reazione che ha come effetto anche la produzione di luce (fotoni). Questa luce viene misurata dal bioluminometro e convertita in un valore numerico riportato sui display. Più elevata è la contaminazione microbica, più sarà elevata la quantità di ATP raccolta e, di conseguenza, la luce prodotta e il valore misurato dal bioluminometro.



DETTAGLI TECNICI:

ATP (adenosina trifosfato) è una molecola presente in tutte le cellule viventi, e dà una misura diretta della concentrazione microbica e della salute dei microorganismi. L'ATP viene quantificato misurando la luce prodotta attraverso la reazione fra l'ATP e l'enzima luciferasi (naturalmente presente nelle lucciole) usando un luminometro. La quantità di luce prodotta è direttamente proporzionale alla quantità di organismi viventi presenti nel campione.

Applicazione in-situ per il rilevamento dell'attività microbica su tutti i tipi di materiali del patrimonio culturale. Nei programmi di dosaggio dei biocidi che interessano il controllo dei biodeteriogeni (verificare l'efficienza del biocida/disinfettante nel tempo, stabilire la sua minima concentrazione inibente).

Referente: Oana A. Cuzman (oanaadriana.cuzman@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Spugna di contatto

INFORMAZIONI GENERALI:

Il metodo della spugna di contatto, o della spugnetta, è un test di assorbimento di acqua da parte del materiale in esame che può essere effettuato anche in situ.

Una spugna di tipo e dimensioni prestabilite viene caricata con una quantità d'acqua tale che, tenuta a contatto della superficie con pressione costante e per tempi brevi, non dia luogo a fenomeni di sgocciolamento. Per l'applicazione sulla superficie viene utilizzata una piastra circolare in plastica. La quantità di acqua assorbita dalla superficie viene calcolata per differenza, pesando la spugnetta prima e dopo l'applicazione, con una precisione che dipende da quella della bilancia utilizzata.

DETTAGLI TECNICI:

Strumentazione:

Kit per misura del test: spugne tipo Spontex 1 tipo Calypso composte da fibre naturali, opportunamente tagliate mediante fustella di diametro 55 mm (superficie 23,76 cm²), piastre circolari di plastica 1034 Rodac Plate prodotte dalla ditta statunitense Falcon, bilancia portatile (Sede di Firenze, Sezione di Milano).

Applicazioni:

Il metodo della spugnetta, a differenza di altri metodi di misura dell'assorbimento di acqua, è facilmente applicabile in situ. Le misure di assorbimento di acqua sono molto utilizzate e di importanza fondamentale per valutare lo stato di conservazione di una superficie e l'efficacia e durabilità di trattamenti conservativi, in particolare di tipo protettivo.

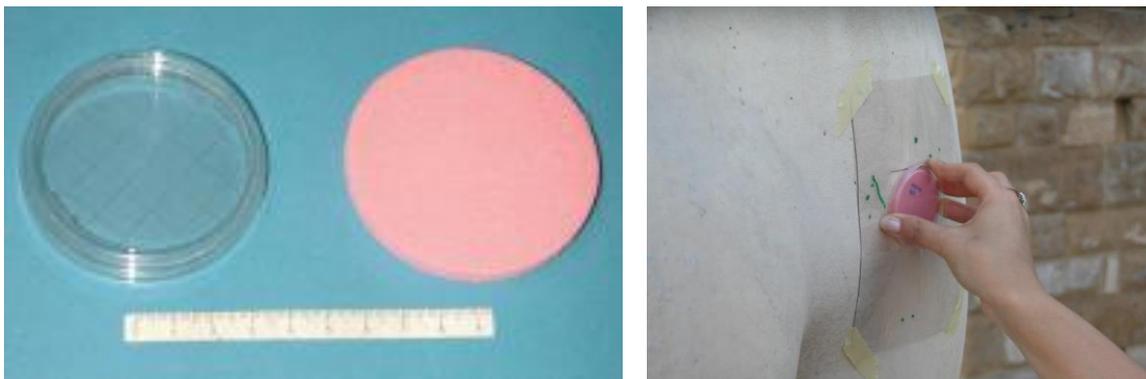


Figura: (a) kit di misura; (b) esempio di applicazione sul gruppo scultoreo del Ratto della Sabina, (Loggia dei Lanzi, P.zza della Signoria, Firenze)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Tiano P., Pardini C. Valutazione in situ dei trattamenti protettivi per il materiale lapideo. Proposta di una nuova semplice metodologia. *Arkos*, 5, 2004, 30-37.
- D. Vandevordea, M. Pamplona, O. Schalma, Y. Vanhellemontc, V. Cnudded, E. Verhaeven. 2009. Contact sponge method: Performance of a promising tool for measuring the initial water absorption. *Journal of Cultural Heritage*. 01/2009; 10(1):41-47.



Referente: Silvia Rescic (silvia.rescic@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Micro-drilling: Cordless Drilling Resistance Measurement System (DRM) SINT Technology

INFORMAZIONI GENERALI:

Tecnica micro-distruttiva che permette di valutare la “durezza/coesione” superficiale di un materiale lapideo naturale o artificiale sia in laboratorio che in situ. Lo strumento è costituito da un trapano modificato in cui una cella di carico permette di misurare, in newton, la resistenza alla perforazione opposta dal materiale in esame. Viene realizzato un foro sulla superficie da analizzare con una punta di diametro 5mm, diamantata o per cementi e pietre, e profondità del foro stabilita dall'operatore (in genere 10mm). La velocità di avanzamento e di rotazione della punta sono mantenute costanti durante la prova e selezionate in base al tipo di materiale da analizzare. Lo strumento collegato ad un Pc con software dedicato permette di visionare in tempo reale il diagramma della resistenza alla perforazione in funzione della profondità del foro.



DETTAGLI TECNICI:

La resistenza alla perforazione opposta da un materiale lapideo naturale o artificiale è funzione delle sue caratteristiche composizionali, meccaniche e microstrutturali ed è stata correlata statisticamente con la resistenza a compressione uniassiale.

APPLICAZIONI:

Valutazione dello stato di conservazione di materiali lapidei naturali e artificiale (malte/cementi, materiali in terra cruda, mattoni, etc.). Valutazione dell'efficacia di trattamenti conservativi sulle stesse tipologie di materiali e loro monitoraggio nel tempo: individuazione della profondità a cui sono arrivati i trattamenti e formazione di eventuali croste superficiali (spessore e durezza). Valutazione della qualità del materiale di cava per eventuali sostituzioni in opera.

RIFERIMENTI:

- F. Fratini, S. Rescic, P. Tiano. 2006. A new portable system for determining the state of conservation of monumental stones. *Materials and Structures*. 39:139–147

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Strumento portatile a correnti indotte per la rilevazione della conducibilità elettrica di metalli non ferrosi: SIGMASCOPE mod. SMP350

INFORMAZIONI GENERALI:

La conducibilità elettrica è un'importante proprietà dei metalli correlabile alla composizione, alla microstruttura e alle proprietà meccaniche.

Nel campo dei Beni Culturali, la misura della conducibilità elettrica, attraverso l'impiego di una sonda apposita, consente di ottenere rapidamente informazioni utili a verificare l'omogeneità di metalli e leghe artistiche non ferrose (bronzo, ottone, ...) e a rilevare differenze composizionali fra parti scultoree. Ad esempio, possono essere individuate e confrontate integrazioni, riparazioni, tasselli, perni anche al di sotto della patina di alterazione e quindi non immediatamente evidenti all'ispezione visiva.

Lo strumento in dotazione misura la conducibilità elettrica utilizzando il metodo delle correnti parassite (EC) secondo gli Standard ASTM E1004 e DIN EN 2004-1. La valutazione del segnale di misura consente la determinazione rapida e non invasiva della conducibilità elettrica del metallo, anche in presenza di vernici fino a 500 μm di spessore. Ciò riduce al minimo l'influenza della rugosità superficiale.

Inoltre, l'utilizzo della sonda EC consente un'esplorazione capillare delle superfici ottenendo così una mappatura che permette di selezionare, in funzione delle problematiche da studiare, i punti di misura più rappresentativi per le successive analisi puntuali (es. XRF, LIBS, ...).

Un'applicazione particolarmente vantaggiosa della tecnica EC prevede l'integrazione con la spettroscopia XRF portatile. Infatti, in presenza di patine di spessore rilevante come ad esempio quelle archeologiche, l'accoppiamento di queste due tecniche consente di massimizzare le informazioni ottenibili sia in termini di omogeneità della lega che di composizione.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento SIGMASCOPE SMP350 opera con un intervallo di misurazione variabile da 0,3 - 63 MS/m o 0,5 - 108% IACS, con precisione a temperatura ambiente pari a $\pm 0,5\%$ della lettura misurata. Le frequenze di misura, con sonda FS40, variano da 60 a 480 kHz.

Il tempo di acquisizione di ogni dato analitico è circa 2 secondi. L'affidabilità della misura è massima per superfici piane, con area di diametro almeno 13 mm.



Figura: Rilevazione della conducibilità elettrica su opere di epoca e tipologia diversa.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- N. Salvioli, B. Salvadori, E. Cantisani, S. Vettori, T. Radelet (2019) “Il restauro e lo studio conoscitivo dello specchio della Galassina” In: Lo specchio di Celestino. Archeologia etrusca a Modena nella prima metà dell’Ottocento. Catalogo della mostra a cura di Chiara Marastoni, SAGEP Editori, Genova, pp. 71-81. ISBN: 978-88-6373-639-7.
- S. Agnoletti, T. Bruni, A. Cagnini, M. Galeotti, S. Porcinai, B. Salvadori, A. Santagostino Barbone (2016) “Le applicazioni della tecnica delle correnti indotte (Eddy-Current) per la conservazione e lo studio di manufatti metallici di valore storico-artistico”. OPD Restauro, Centro Di, Firenze, 28, pp. 162-173. ISSN:1120-2513

Referente: Barbara Salvadori (barbara.salvadori@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Dielettrometro a microonde (Acronimo SUSI)

INFORMAZIONI GENERALI:

La tecnica EFID si basa sulla spettroscopia dielettrica. Il contenuto di umidità (MC) nei materiali porosi che costituiscono una struttura muraria (intonaco, malta, mattoni, pietra) è misurata grazie al contrasto dielettrico esistente tra l'acqua e il materiale ospite asciutto. Il sistema impiega un analizzatore di rete scalare e una sonda risonante operante a microonde, consentendo di misurare ed elaborare in tempo reale la sub-superficiale MC di un muro e per rilevare la presenza di sali solubili (Salinity Index, SI) in esso contenuti.

Il sistema trova utile applicazione per il monitoraggio stagionale delle pareti di interesse artistico, principalmente affreschi e pitture murali. Il basso peso dello strumento permette una facile trasportabilità anche in ambienti "difficili" come su ponteggi.

I dati sono acquisiti da un computer general purpose notebook, con una pratica applicazione in esecuzione in Microsoft Windows™.

DETTAGLI TECNICI:

Alimentazione:	V=220V; 50Hz
Funzionamento a batteria:	Batteria al litio
Peso dello strumento: (probe, netbook, analizzatore di reti)	10 kg (circa)
Frequenza operativa	900 MHz – 1.4 GHz
Potenza di uscita	Inferiore a 0 dBm (1mW)
Misura del contenuto di umidità: (misura assoluta dopo calibrazione su materiale di riferimento)	0 – 20%
Misura dell'indice di salinità: (misura semi-quantitativa)	0 – 10 (1 -> basso contenuto di sali; 10 -> alto contenuto di sali)
Tipo di misura:	Misura non distruttiva a contatto puntuale Misura sub-superficiale Misura in tempo reale (30-40 s per singola misura)
Volume del materiale investigato:	Semi-sfera di raggio 2cm (max) all'interno del materiale

Possibili applicazioni:

- diagnostica sub-superficiale del contenuto di umidità e della presenza di sali;
- monitoraggio e controllo dello stato di umidità e di sali del materiale sotto indagine;
- controllo dell'efficacia di impacchi estrattivi per la rimozione di sali;
- Mappe del contenuto di umidità e distribuzione dei sali all'interno del supporto;



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- R Olmi, M Bini, A Ignesti, S Priori, C Riminesi, A Felici. 2006. Diagnostics and monitoring of frescoes using evanescent-field dielectrometry. *Measurement Science and Technology* 17 (8), 2281
- V. Di Tullio, et al. 2010. Non-destructive mapping of dampness and salts in degraded wall paintings in hypogeous buildings: the case of St. Clement at mass fresco in St. Clement Basilica, Rome. *Analytical and bioanalytical chemistry* 396 (5), 1885-1896

Referente: Cristiano Riminesi (cristiano.riminesi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

Spettrometro portatile JASCO NIR

INFORMAZIONI GENERALI:

La spettroscopia FT-IR in riflessione è una spettroscopia vibrazionale ampiamente utilizzata nel campo della scienza per i beni culturali per la caratterizzazione e identificazione dei materiali inorganici ed organici. La misura di specifici segnali relativi a gruppi funzionali molecolari permette il riconoscimento del materiale esaminato. Nella finestra spettrale del vicino infrarosso (NIR) tipicamente cadono bande vibrazionali di combinazione ed armoniche e che avendo dei coefficienti di assorbimento bassi non sono distorte da effetti matrice derivanti dalla modalità di acquisizione in riflessione. La penetrazione della radiazione NIR permette lo studio di superfici pittoriche e degli strati di preparazione anche in presenza di vernici.

DETTAGLI TECNICI:

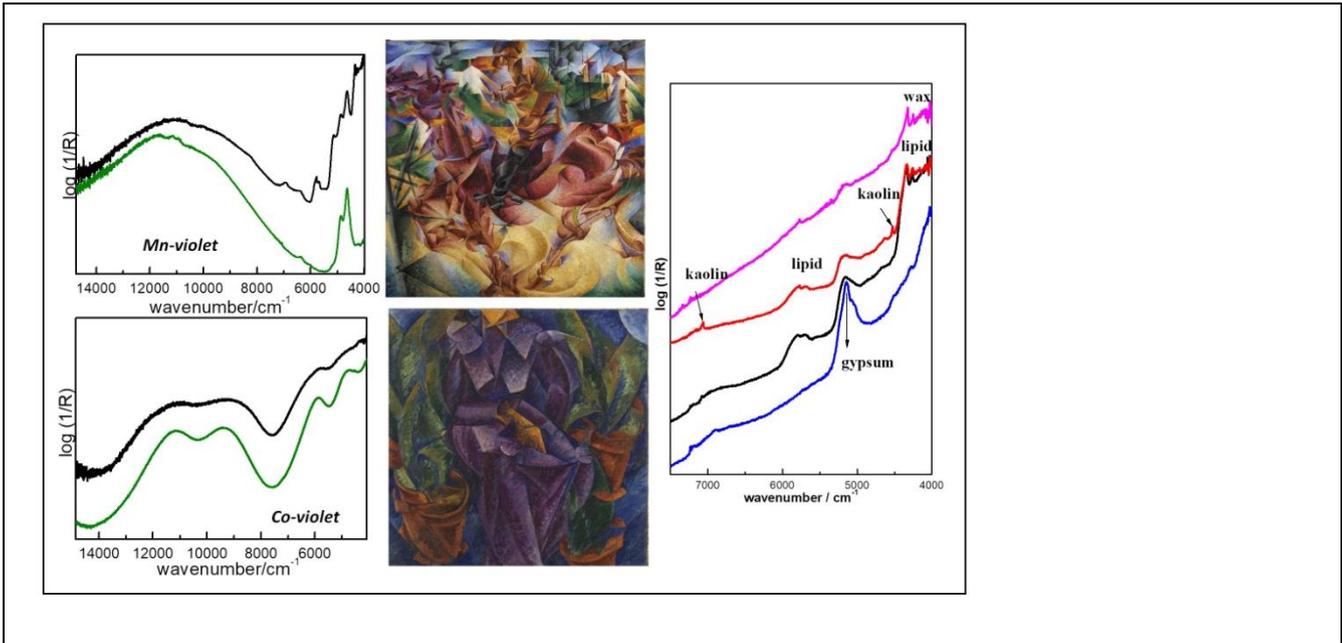
Lo spettrometro portatile JASCO NIR lavora in riflessione raccogliendo la radiazione riflessa (con un layout ottico di 0°/0°) da una superficie ad una distanza di circa 6mm nella finestra spettrale 12500-4000 cm^{-1} . La strumentazione è dotata di una sorgente alogena, di un interferometro di Michelson e un detector InGaAs e di un probe di misura a fibre ottiche in vetro. Il probe di misura è costituito da 14 fibre di cui 7 portano la radiazione e le altre sette la raccolgono dalla superficie. La risoluzione spettrale normalmente utilizzata è di 4 cm^{-1} e l'area investigata è di circa 12 mm^2 . La strumentazione di dimensioni 30x30x45 cm^3 pesa circa 30kg. Può essere posizionata su un tavolo o anche lasciata a terra sfruttando le fibre ottiche di 2 metri per raggiungere l'oggetto da analizzare.

Figura: a) Condizioni operative dello spettrometro FT-IR JASCO NIR in riflessione, b) potenzialità analitiche della tecnica per l'identificazione dei pigmenti, dei materiali organici ed inorganici

a)



b)



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Recent trends in the application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in Heritage Science: from micro- to non-invasive FT-IR, *Physical Sciences Reviews* 4(11), 20180006, eISSN 2365-659X, <https://doi.org/10.1515/9783110457537-006>
- Interpretation of mid and near-infrared reflection properties of synthetic polymer paints for the non-invasive assessment of binding media in twentieth-century pictorial artworks
Microchemical Journal 124 (2016) 898–908
<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.019>

Referente: Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

Spettrometro portatile ALPHA-R Bruker

INFORMAZIONI GENERALI:

La spettroscopia FT-IR in riflessione è una spettroscopia vibrazionale ampiamente utilizzata nel campo della scienza per i beni culturali per l'identificazione di materiali inorganici ed organici. La misura di specifici segnali relativi a gruppi funzionali molecolari permette la caratterizzazione chimica del materiale esaminato. La tecnica permette l'identificazione dei materiali costitutivi, degli eventuali materiali di ritocco e restauro, delle contaminazioni superficiali, delle alterazioni e dei prodotti di degrado.

DETTAGLI TECNICI:

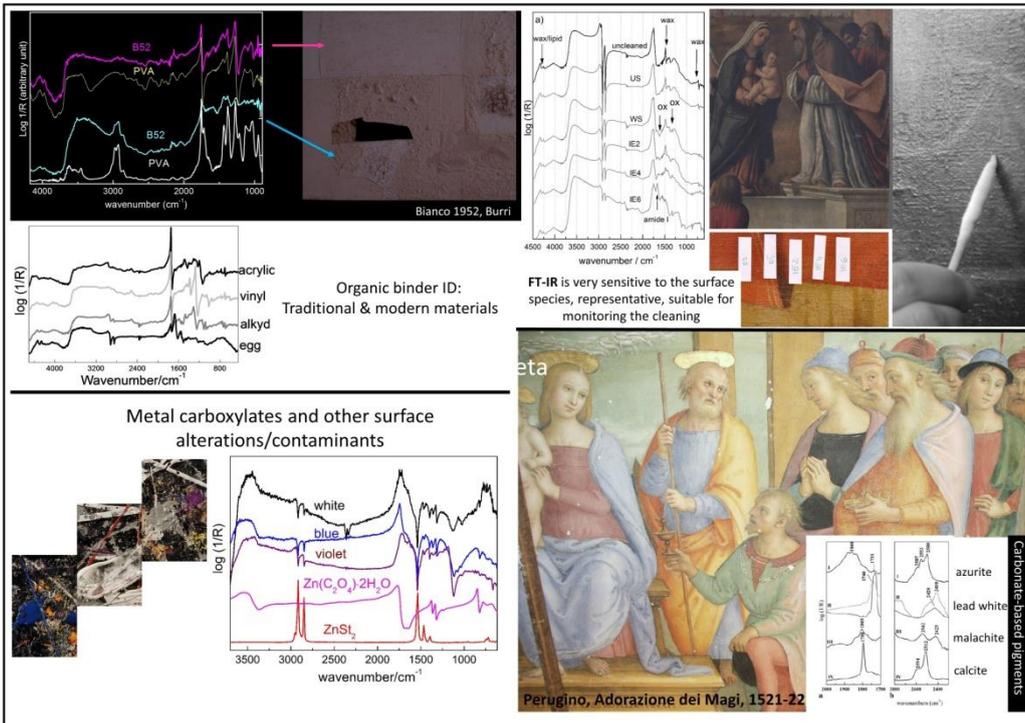
Lo spettrometro portatile ALPHA-R della Bruker lavora in riflessione raccogliendo la radiazione riflessa (con un layout ottico di circa $(20^\circ/20^\circ)$ da una superficie posta a 1 cm di distanza. La strumentazione è dotata di una sorgente infrarossa Globar, di un interferometro di Michelson (RockSolid(TM)) e un detector DLaTGS. Lo spettrometro pesa 7 kg ed ha dimensioni $20 \times 30 \times 12$ cm³. La testa di misura è dotata di una telecamera che permette la visualizzazione del punto di analisi. La finestra spettrale acquisibile è molto ampia ($7500-350$ cm⁻¹) facilitando quindi l'interpretazione spettrale e il riconoscimento del materiale esaminato. La risoluzione spettrale è di 4 cm⁻¹, mentre l'area investigata è di circa 7 mm². Lo spettrometro può essere movimentato verticalmente attraverso un soffietto manuale (collocato, per esempio, sopra un tavolo) fino ad un'altezza < 40 cm. In alternativa può essere montato su un cavalletto dedicato e raggiungere un'altezza massima di circa 2 m (strumentazione posta orizzontalmente) o di 2.5 m (strumentazione posta verticalmente per analizzare soffitti e volte). L'avvicinamento alla superficie è regolato da uno stage con controllo millimetrico. Il cavalletto è anche dotato di ruote che rendono la movimentazione della strumentazione agile. Il minimo ingombro dello spettrometro e il suo ridotto peso ne permettono l'utilizzo anche su impalcature.

Figura: a) Condizioni operative dello spettrometro FT-IR in riflessione ALPHA-R Bruker, b) potenzialità analitiche della tecnica per l'identificazione dei materiali organici, inorganici, prodotti di alterazione e per il monitoraggio di interventi di restauro

a)



b)



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Recent trends in the application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in Heritage Science: from micro- to non-invasive FT-IR, , Physical Sciences Reviews 4(11), 20180006, eISSN 2365-659 <https://doi.org/10.1515/9783110457537-006>

Referente: Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

LABORATORIO: XRAYLab

NOME STRUMENTO

Spettrometro LE-XRF sviluppato presso il laboratorio XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

L'analisi composizionale delle superfici applicata a materiale archeologico o ad oggetti di interesse storico artistico offre importanti informazioni sulla natura dei materiali e sulle tecnologie di fabbricazione. Tipicamente tali analisi vengono effettuate con strumentazione fissa (ad. esempio la tramite la tecnica PIXE che richiede l'utilizzo di acceleratori) direttamente nei laboratori. In questa scheda viene presentata una modalità di applicazione della tecnica XRF particolarmente indicata per l'analisi superficiale dei materiali. Come è noto, la tecnica XRF convenzionale è penetrante e le informazioni che si ottengono dalle analisi interessano strati di materiale di diverse decine di micron; inoltre, la tecnica XRF, seppure molto efficiente, spesso presenta limiti di rivelazione elevati nelle regione di bassa energia (a partire da 1keV) per elementi a basso numero atomico (come il Na e il Mg) a causa della presenza di un elevato fondo associato alla diffusione dello spettro continuo emesso dai tubi a raggi X.

Presso XRAYLab di ISPC è stato sviluppato uno spettrometro XRF particolarmente indicato per l'analisi composizionale di superfici. Esso opera con un fascio di bassa energia (i parametri operativi del tubo sono 8kV per la tensione e 2mA per la corrente) il cui range analitico è limitato ad alcuni micron nel caso di matrici pesanti (ad esempio per i metalli) e comunque inferiore a 20 micron nel caso di matrici più leggere (ad es. ceramiche e vetri). Inoltre, dato che la radiazione continua emessa dal tubo presenta un massimo a soli 8 keV, la regione di bassa energia dello spettro presenta un basso rumore ed una più elevata efficienza di rivelazione per elementi leggeri (a partire dal Na a circa 1keV).

Guida sintetica per la scelta della tecnica LE-XRF di ISPC

Materiali: tutti i materiali di natura inorganica

Casi ottimali di applicazione: strati pittorici superficiali, patine di arricchimento e degrado.

Posizionamento del campione: verticale

Tipologia di analisi: analisi puntuale, non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: dell'ordine dei minuti a seconda delle tipologie di materiali da investigare

Dimensione del fascio: 3mm

Distanza di posizionamento del campione: circa 15mm

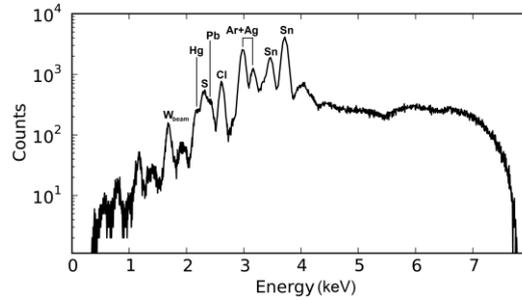
Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di W, 8kV e 2mA

Sistema di rivelazione: SDD da 80mm²

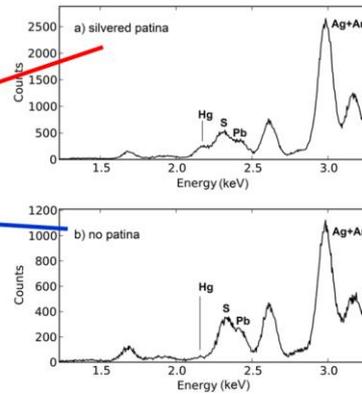
DETTAGLI TECNICI:

Il sistema portatile LE-XRF sviluppato presso il laboratorio XRAYLab di ISPC consiste di un tubo a raggi X operante a bassa tensione (8kV) ma con elevata corrente (2mA). La rivelazione dei raggi X di fluorescenza indotti sul campione dalla radiazione primaria viene effettuata con un rivelatore SDD da 80mm² e risoluzione energetica di 140eV a 5.9 keV. Lo spot del fascio sul campione da misurare è pari a circa 3mm. Un flusso d'elio, attivo durante le misure, consente di minimizzare gli assorbimenti dovuti alla presenza dell'aria e di rivelare le righe caratteristiche di bassa energia emesse dagli elementi leggeri a partire dal sodio (a circa 1keV). Gli elementi di medio numero

atomico sono rivelati mediante le righe di fluorescenza della serie K (ad es. Ca, Ti, Fe, Mn), mentre gli elementi pesanti vengono invece rivelati tipicamente mediante le righe caratteristiche di bassa energia delle serie M (ad es. Hg, Pb e Au) o delle serie L (ad es. Ag e Sn).



Lo spettrometro portatile LE-XRF in misura su una moneta romana e il relativo spettro



Rivelazione della patina di arricchimento superficiali Ag-Hg spessa 2 micron in una moneta romana composta da Cu-Ag

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

Spettroscopia micro & macro Raman con eccitazione laser a 532 e 785nm

INFORMAZIONI GENERALI:

La spettroscopia Raman è una spettroscopia vibrazionale che fornisce informazioni complementari a quelle ottenibili con la tecnica infrarossa (FT-IR). Generalmente è utilizzata per identificare i pigmenti costituiti da ossidi metallici, spesso trasparenti nel range del medio e vicino infrarosso. Il limite principale della tecnica Raman è legato all'intesa fluorescenza, generata da fenomeni di assorbimento ad opera dell'eccitazione laser, e che può interferire con lo scattering, coprendo tutte le firme vibrazionali. Per ovviare a questo inconveniente, è utile avere a disposizione diverse linee laser d'eccitazione favorendo l'uso delle linee di lunghezza d'onda più lunghe (ad esempio 785 o 1064 nm) per matrici caratterizzate da componenti organici (dipinti verniciati/non verniciati, pitture a olio, manoscritti, ecc.) e sfruttando quelle a energia più elevata per i substrati a base inorganica (ceramiche, bronzi, ecc.).

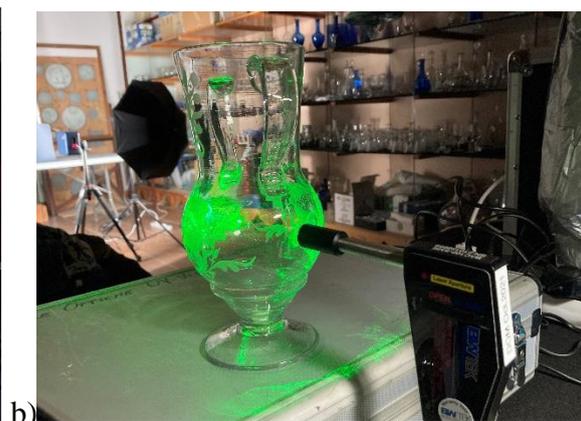
L'uso di una sorgente laser a 532 nm, infatti, è particolarmente indicata per lo studio di prodotti di corrosione, minerali, gemme, vetri e ceramiche, essa fornisce informazioni sia sulle fasi inorganiche cristalline che amorfe rispondendo a problematiche legate alla composizione, tecniche e alterazioni. È adatto anche per l'identificazione dei più comuni prodotti di corrosione del bronzo.

L'utilizzo del laser a 785 nm è invece più indicato per matrici eterogenee organiche-inorganiche.

DETTAGLI TECNICI:

Il Raman portatile della BWTEC i-Raman Plus è equipaggiato con due sorgenti laser che emettono a 532 e 785 nm e due CCD detectors specifici per le due eccitazioni. Entrambe le linee laser possono essere inviate in fibra (due specifici probe per ogni laser d'eccitazione di lunghezza 1.5 m) per misure Raman con uno spot di analisi di circa 90-100 μm . I laser possono essere accoppiati anche ad un probe micro equipaggiato con diversi obiettivi per misure in situ di piccoli oggetti, in questa modalità è disponibile anche una telecamera per visualizzare il campione. È dotato di 4 diversi obiettivi per ottenere diverse risoluzioni laterali (4x, 20x, 40x e 80x con le quali si ottengono aree di indagine di 300-400, 90-100, 40-50 e 15-20 μm). Il range spettrale acquisibile è da 65-4200 cm^{-1} . Potenza del laser regolabile via software con step di 1% della potenza nominale (40-50mW per il 532, fino a 300 mW per il 785nm).

Figura: Condizioni operative del sistema Raman portatile BWTEK con laser a 532 nm, a) equipaggiamento micro-Raman b) equipaggiamento con fibra ottica per macro-Raman.



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- J. Anal. At. Spectrom., 2011, 26, 2500–2507
- J. Raman Spectrosc. 2011, 42, 407–414

Referente: Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE
LABORATORIO: CNR-ISB
<p>NOME STRUMENTO</p> <p>NMR depth profile/ NMR relaxometry: NMR-MOUSE</p>
<p>INFORMAZIONI GENERALI:</p> <p>La Risonanza Magnetica portatile (NMR-MOUSE) è una strumentazione disponibile nel MOLAB per l'analisi in situ di affreschi, dipinti, carta e legno, e materiali lapidei. Lo strumento permette di scansionare le opere d'arte dalla superficie fino ad 1 centimetro di profondità in modo non-invasivo. Le principali applicazioni dell'NMR-MOUSE sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Misurare il contenuto di acqua e di umidità attraverso mappature 2D; - Misurare i profili degli strati dipinti con risoluzione micrometrica per valutare distacchi, fratture, e de-coesioni, - Misurare le proprietà chimico-fisiche e l'azione di: consolidanti, protettivi e formulati per le puliture; - Misurare porosimetriche e tortuosità in materiali porosi; - Mappare il degrado in materiali cartacei e lignei; - Studio profilometrico del degrado di vernici e leganti, e polimeri.
<p>DETTAGLI TECNICI:</p> <p>Nel laboratorio sono disponibili tre diversi tipi di NMR portatile:</p> <p>1. <u>NMR-MOUSE relaxometry (BRUKER)</u> è dotato di tre bobine a RF operative tra 16-18 MHz (1H) che permettono la misura a profondità fisse di 1, 3, e 5 mm di profondità. Usato principalmente per il rilievo e la mappatura dell'umidità. Lo strumento è inoltre provvisto di cavalletto regolabile in altezza (40- 190cm),</p> <p>2. <u>NMR MOUSE depth profile (PM10)</u> (elettronica BRUKER-sonda Magritek), è dotato di una bobina a RF operativa a 13 MHz (1H), con gradiente di campo magnetico di 14 T/m. La sonda è montata su un piccolo ascensore che permette la scansione fino 1 cm di profondità, con step da 20-100 micrometri. Misure: tempi rilassamento (Saturation recovery), T₂ (CPMG), coefficiente di diffusione (SE, STE); profili di densità protonica (CPMG). e di un ponteggio portatile regolabile in altezza da 50 a 170 cm. Lo strumento è usato principalmente per misurare profili di profondità in dipinti tavola, manufatti scultorei, e materiali lapidei porosi.</p> <p>3. <u>NMR-MOUSE depth profile (PM2) (Magritek)</u> è dotato di una bobina a RF operativa a 20 MHz (1H), con gradiente di campo magnetico di 60 T/m. La sonda è montata su un piccolo ascensore che permette la scansione fino 2 mm di profondità e di un ponteggio portatile regolabile in altezza da 50 a 170 cm. Misure: tempi rilassamento (Saturation recovery), T₂ (CPMG), coefficiente di diffusione Diff. (SE, STE); profili di densità protonica (CPMG); mappe 2D T₁/T₂; T₂/Diff. e di un ponteggio portatile regolabile in altezza da 50 a 170 cm. Lo strumento è usato principalmente per vernici e leganti, coatings, dipinti su tela; carta e cuoio.</p>
<p>MAGGIORI INFORMAZIONI:</p> <ul style="list-style-type: none"> • D. Capitani, V. Di Tullio, N. Proietti, Nuclear magnetic resonance to characterize and monitor cultural heritage, Progress in nuclear Magnetic resonance Spectroscopy 64, 29-69, 2012. • V. Di Tullio, G. Sciutto, N. Proietti, S. Prati, R. Mazzeo, C. Colombo, E. Cantisani, V. Romè, D. Rigaglia, D. Capitani, ¹H NMR depth profiles combined with portable and micro-analytical techniques for evaluating cleaning methods and identifying original, non-original, and degraded materials of a 16th century Italian wall painting, Microchemical Journal 141, 40-50, 2018.



Figura: Condizioni operative del NMR-MOUSE durante misure in situ.

Referente: Valeria Di Tullio (valeria.ditullio@cnr.it); Noemi Proietti (noemi.proietti@cnr.it).

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Metodo peeling

INFORMAZIONI GENERALI:

Il test di peeling (o di strappo) nasce come metodo per la verifica dello spolverio delle pitture e successivamente ha altre applicazioni in ambito industriale. Nel campo dei Beni Culturali le sue prime applicazioni riguardano la verifica dell'efficacia di trattamenti atti a ridare coesione alla superficie pittorica di affreschi. Successivamente è stato applicato su malte (di calce, cementizie, di terra) sempre con lo scopo di verificare la ricoesione superficiale indotta da trattamenti di varia natura.

DETTAGLI TECNICI:

Strumentazione:

Si utilizza un nastro adesivo con elevata omogeneità e caratteristiche note con particolare riguardo alla resistenza a trazione e adesione in accordo rispettivamente con la norma ASTM D3759 e ASTM D 3330 (ad es. 3M scotch 1280). Una bilancia analitica a tre cifre decimali e uno strumento per avere una pressione omogenea del nastro sulla superficie da analizzare sono altri attrezzi utilizzati per la prova. Il nastro adesivo viene tagliato in modo da avere una superficie di prova di circa 10cm² (ad es. 7x2cm), viene pesato e viene applicato sulla superficie con una pressione costante, e successivamente rimosso, avendo cura di mantenere una velocità di strappo costante. Il nastro rimosso viene pesato e la differenza con il peso precedentemente acquisito permette di valutare la quantità di materiale rimosso. Tutte queste operazioni vengono ripetute in una stessa area per almeno 5 volte utilizzando ogni volta un nuovo nastro adesivo. Così facendo si può vedere un andamento della coesione con strappi successivi e confrontare aree non trattate con aree trattate.

Applicazioni:

Questa tecnica è un metodo efficace per la determinazione dello stato di coesione superficiale di materiali molto disgregati o con un importante spolverio superficiale comprendendo anche pietre tenere, come ad esempio tufi calcarei, con simili tipologie di degrado e per verificare l'efficacia di trattamenti il cui scopo sia essenzialmente di evitare uno spolverio della superficie.

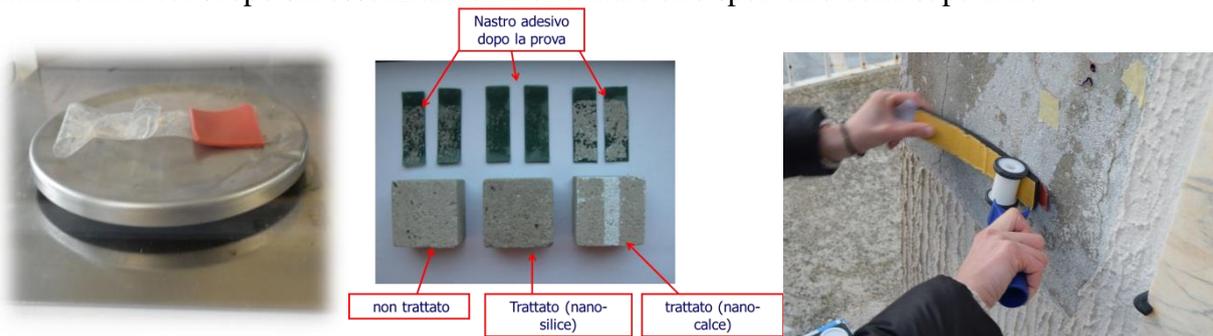


Figura: (a) nastro adesivo tagliato sul piatto della bilancia; (b) esempio di risultato ottenibile dalla prova; (c) test in situ presso la Torre intitolata ai caduti del secondo conflitto mondiale (Torricella Peligna, CH)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Giorgi, R., Dei, L. & Baglioni, P. 2000. A New Method for Consolidating Wall Paintings Based on Dispersions of Lime in Alcohol. *Studies in Conservation*, 45: 154–61
- Drdácý, M., Lesák, J., Rescic, S., Slížková, Z., Tiano, P., Valach, J., 2012. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. *Materials and structures*, 45 (4), 505-520

Referente: Oana Adriana Cuzman (oanaadriana.cuzman@cnr.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Prototipo micro-SORS portatile

INFORMAZIONI GENERALI:

Nel campo dei Beni Culturali la spettroscopia Raman rappresenta una delle tecniche di elezione per la caratterizzazione dei pigmenti (inorganici ed organici) impiegati per la realizzazione di dipinti, pitture murali e oggetti decorati. Il vantaggio di questa tecnica consiste nella possibilità di identificare in modo univoco il tipo di molecola in esame, e di conseguenza il tipo di pigmento.

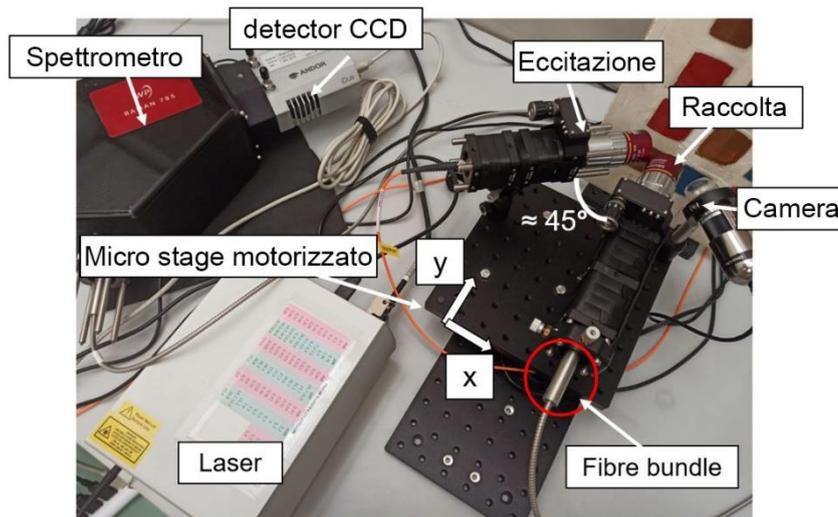
I risultati che si ottengono permettono di ricostruire la tecnica esecutiva con cui è stata realizzata l'opera, oltre che il suo stato di conservazione. Infatti, oltre alla tavolozza pittorica, si possono ricavare informazioni anche sulla presenza di prodotti di degrado o di sostanze applicate sulla superficie dei beni per fini conservativi.

La spettroscopia Raman generalmente fornisce informazioni circa la composizione della superficie di un materiale. Al fine di ricavare informazioni anche delle porzioni più interne in modo non-invasivo è stato sviluppato un metodo, micro-Spatially Offset Raman Spectroscopy (micro-SORS), in grado di rilevare la presenza di composti situati al di sotto della superficie con risoluzione compresa nel range dei micrometri.

Lo spettrometro Raman disponibile nel MOLAB è un prototipo micro-SORS portatile che consente di acquisire simultaneamente i) lo spettro Raman convenzionale, che possiede informazioni composizionali della superficie dell'oggetto e ii) gli spettri micro-SORS, registrati a diverse distanze (*offset*) rispetto al punto di incidenza del laser alle quali è possibile rilevare fotoni Raman generati più in profondità e che riemergono lateralmente in superficie. La tecnica micro-SORS permette di ricostruire, seppur parzialmente, stratigrafie pittoriche o di evidenziare la presenza di prodotti di degrado nascosti dalla superficie.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento è composto da uno spettrometro WP785 (Wasatch Photonics), accoppiato con una CCD iDus DU4011A-BR-DD (Andor), laser a diodo con lunghezza d'onda 785 nm (Innovative Photonic Solutions -IPS) e potenza che va da un minimo di $0.76 \mu\text{W}$ ad un massimo di 30 mW. La risoluzione spettrale dello spettrometro è di 8 cm^{-1} , e il range spettrale va da 100 a 3050 cm^{-1} . Come ottica di eccitazione e raccolta vengono utilizzati due obiettivi 10x a lunga distanza focale (Mitutoyo; NA 0.26 – WD 30.5 mm). L'obiettivo attraverso il quale viene focalizzato il laser è posizionato ad un angolo di circa 45° rispetto al piano del campione. Il diametro calcolato dello spot del laser è di circa $20 \mu\text{m}$. Una telecamera (DinoLite) viene utilizzata per osservare e selezionare la porzione del campione da misurare; il sistema ottico è posizionato su un micro-stage (Thorlabs M30XY) che permette operazioni di allineamento e messa a fuoco del campione con elevata accuratezza. L'intero sistema, infine, è montato su un treppiede. Le distanze di offset sono ottenute attraverso l'utilizzo di un fascio di fibre ottiche di dimensioni micrometriche (*fibre bundle* Armadillo SIA - LV) che consente l'acquisizione simultanea dello spettro Raman convenzionale e degli spettri micro-SORS (fino a 15 spettri, con offset dai $37 \mu\text{m}$ ai $525 \mu\text{m}$). Questa caratteristica è particolarmente vantaggiosa per le analisi *in situ* in quanto consente di rendere il sistema estremamente stabile e di garantire rapidi tempi di misura (sequenze micro-SORS acquisite in pochi secondi o pochi minuti). L'acquisizione degli spettri è comandata dal software LabVIEW.



Schema del prototipo con indicazione delle varie componenti.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Mosca, S., Conti, C., Stone, N. and Matousek, P., 2021. Spatially offset Raman spectroscopy. *Nature Reviews Methods Primers*, 1(1), 21.
- Conti, C., Botteon, A., Colombo, C., Pinna, D., Realini, M. and Matousek, P., 2020. Advances in Raman spectroscopy for the non-destructive subsurface analysis of artworks: Micro-SORS. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 319.

Referente: Claudia Conti (claudia.conti@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Schmidt Hammer

INFORMAZIONI GENERALI:

Il test del martello di rimbalzo, noto anche come Schmidt Hammer Test o test sclerometrico, sviluppato dall'ingegnere svizzero Ernst Schmidt nel 1948, è uno dei test più antichi, semplici e non distruttivi per applicazioni principalmente sul calcestruzzo e su roccia. Il dispositivo utilizza una molla con energia nota e misura la durezza della superficie del calcestruzzo usando il principio del rimbalzo. Il test del martello di Schmidt è standardizzato secondo le norme ASTM C805 e BS EN 12504-2.

I tests possono essere eseguiti orizzontalmente, verticalmente sia verso l'alto che verso il basso e in qualsiasi posizione angolata intermedia rispetto alla superficie. I dispositivi sono forniti con curve di correlazione dal produttore. Sono necessari almeno 8-10 misure per avere un dato medio affidabile rispettando la distanza tra un'area di prova e l'altra stabilita dalle norme precedentemente citate. La punta ha un diametro di circa 1 cm e sulla superficie analizzata, a seconda del materiale di cui è costituita, si crea una piccola depressione circolare e più o meno visibile. La superficie deve essere possibilmente planare e liscia, per questo è necessario lo strumento ha in dotazione una pietra per levigare la superficie di prova

DETTAGLI TECNICI:

Strumentazione:

La strumentazione in dotazione consiste di due sclerometri marca Proceq con le seguenti caratteristiche:

-tipo N con energia di impatto pari a 2.207 Nm, per strutture in cemento con spessore superiore a 10 cm;

-tipo L con energia di impatto pari a 0.735 Nm, per strutture in cemento con spessore superiore a 5cm e inferiore a 10 cm (Sezione di Firenze).

Applicazioni:

Il test del martello di Schmidt è utilizzato principalmente per testare il calcestruzzo, infatti, i produttori di tale strumento forniscono unicamente le curve di calibrazione che correlano il numero di rimbalzo e la resistenza alla compressione per il solo calcestruzzo. Molti lavori di ricerca recenti hanno dimostrato che questo metodo può essere utilizzato per stimare la resistenza alla compressione di pietre da costruzione, mattoni e altri materiali realizzando opportune rette di correlazione tra il numero di rimbalzo e la resistenza alla compressione del materiale corrispondente.

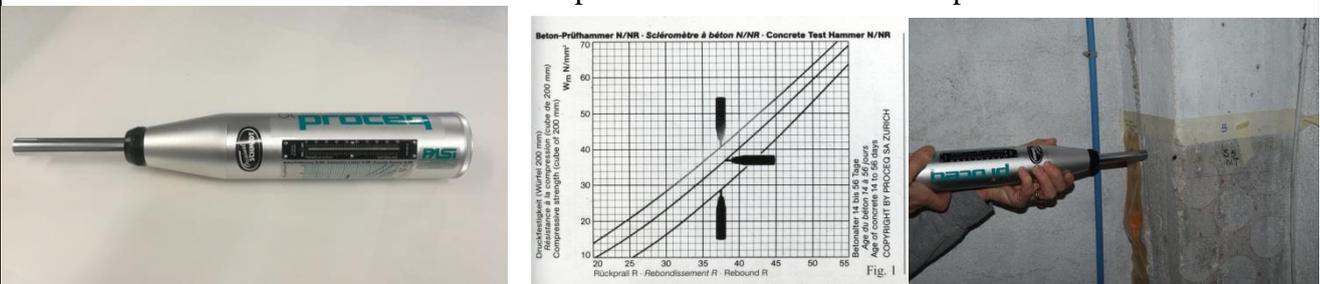


Figura: (a) modello N ditta Proceq; (b) esempio di curva di correlazione tra numero di rimbalzo e resistenza a compressione; (c) test in situ presso la Torre intitolata ai caduti del secondo conflitto mondiale (Torricella Peligna, CH)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

-ASTM C805 / C805M – 18 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete

- BS EN 12504-2 Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number

-Md. Roknuzzaman*, Md. Belal Hossain, Md. Ibrahim Mostazid, Md. Rashedul Haque (2017). Application of Rebound Hammer Method for Estimating Compressive Strength of Bricks. Journal of Civil Engineering Research 2017, 7(3): 99-104 DOI: 10.5923/j.jce.20170703.02

-Ali Abd Elhakam Aliabdo, Abd Elmoaty Mohamed Abd Elmoaty (2012). Reliability of using nondestructive tests to estimate compressive strength of building stones and bricks. Alexandria Engineering Journal (2012) 51, 193–203
- Quoc-Bao Bui (2017). Assessing the Rebound Hammer Test for Rammed Earth Material. Sustainability 2017, 9, 1904; doi:10.3390/su9101904

Referente: Silvia Vettori (silvia.vettori@cnr.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB:

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO: SSE™ Raman portatile

Spettroscopia Raman portatile con eccitazione laser a 785 e 852 nm ottimizzata per rimozione di fluorescenza (SSE™ Raman portatile)

INFORMAZIONI GENERALI:

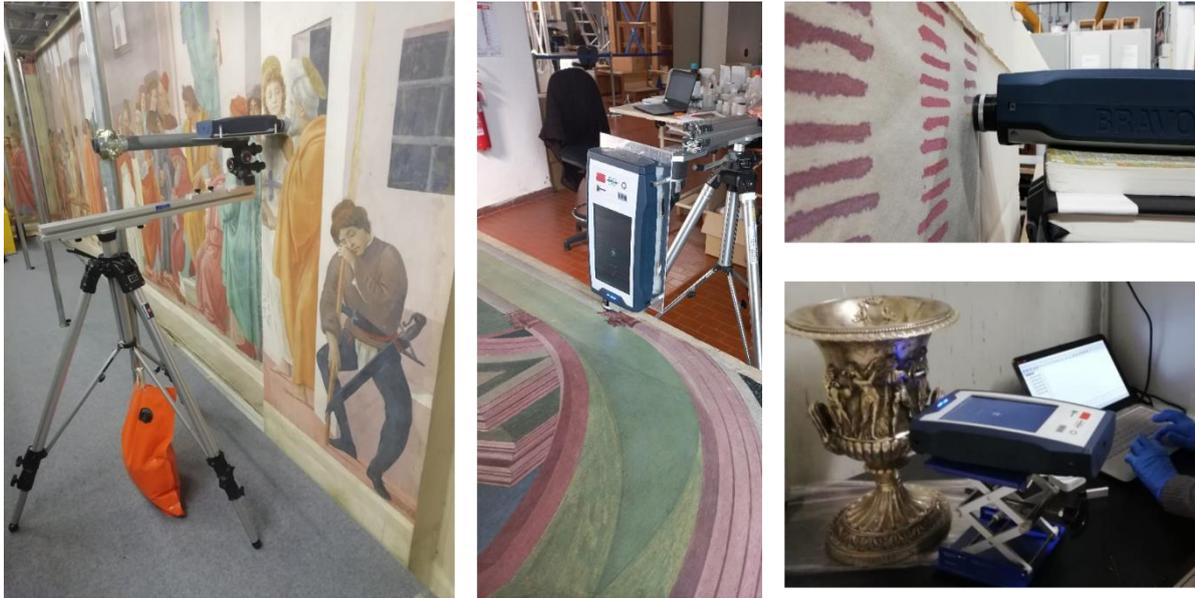
La tecnica Raman è una tecnica di spettroscopia vibrazionale particolarmente utile per l'identificazione univoca del tipo di molecola esaminata e questo consente di analizzare in modo non invasivo i pigmenti, coloranti e leganti, ed altre sostanze organiche, in superfici pittoriche, ceramiche, materiali cartacei, membranacei, tessili, lapidei e metallici.

Uno dei maggiori limiti della spettroscopia Raman è legato ai fenomeni di fluorescenza molecolare che spesso oscurano il segnale Raman. La strategia impiegata nello strumento per superare questo limite si basa sulla tecnologia brevettata *Sequentially Shifted Excitation* (SSE™), capace restituire spettri liberi dalla componente di fluorescenza.

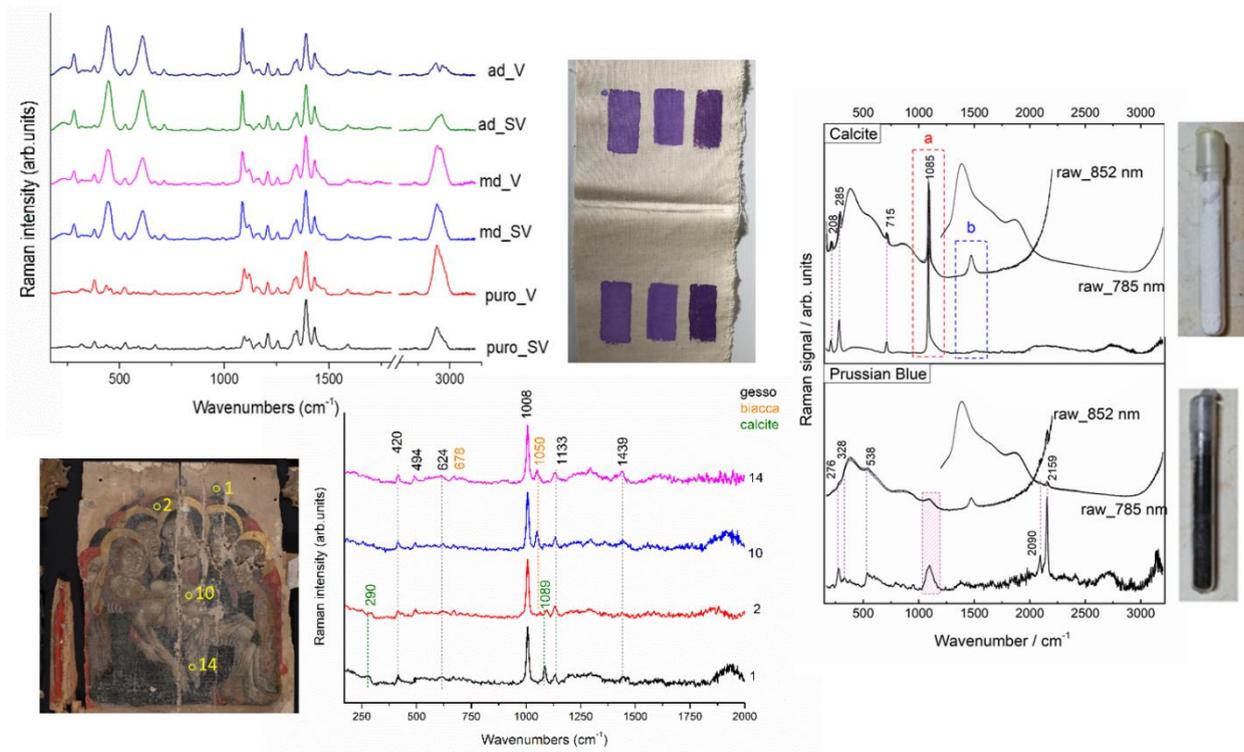
DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento portatile Raman con il nome commerciale Bravo è stato sviluppato dalla Bruker Optics per generare gli spettri Raman senza fondo di fluorescenza attraverso la tecnologia brevettata *Sequentially Shifted Excitation* (SSE™). Il Raman portatile Bravo è dotato di due laser a diodi a temperatura controllata (DuoLaser™, 785 nm e 852 nm) rilevati da diverse aree del CCD con una risoluzione spaziale di 10-12 cm⁻¹. I due laser incidono sul campione in sequenza in ogni misurazione coprendo un intervallo spettrale esteso da 170 a 3200 cm⁻¹ (intervallo spettrale più ampio rispetto agli spettrometri Raman portatili convenzionali). Gli spettri vengono acquisiti in due *step* in sequenza: da 170 a 2000 cm⁻¹ e da 2000 a 3200 cm⁻¹, utilizzando rispettivamente i laser a 852 nm e 785 nm. Ogni laser è shiftato tre volte in base ad una piccola variazione di temperatura, di conseguenza avremo 3 spettri *raw* shiftati di circa 6 cm⁻¹ per ogni laser, per un totale di 6 *raw*. L'algoritmo restituisce uno spettro elaborato nell'intero *range* spettrale (170-3200 cm⁻¹) privo della componente di fluorescenza. I tempi di acquisizione e gli accumuli possono essere scelti dall'operatore oppure è possibile eseguire una misura con le condizioni di misure automatiche. Lo spot esaminato è di 500x100 micron. Lo strumento è compatto (30 cm x 13 cm x 5 cm) e viene solitamente posizionato su un pantografo per permettere il movimento in verticale dello spettrometro. Inoltre, lo strumento può essere posizionato su una piattaforma montata su un treppiede per aumentare la mobilità dello strumento e per inclinarlo in diverse direzioni. Si possono misurare sia oggetti che i materiali (e.g. pigmenti) chiusi in contenitori (e.g. fiale di vetro, plastica), senza ricorrere all'estrazione del materiale.

Figura: a) Condizioni operative dello spettrometro Raman durante la misura, b) potenzialità analitiche della tecnica per l'identificazione dei pigmenti, coloranti, prodotti di degrado, e per il monitoraggio di interventi di restauro



b)



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- S. Innocenti, D. Quintero Balbas, L. Pezzati, R. Fontana, J. Striova, Portable Sequentially Shifted Excitation Raman Spectroscopy to Examine Historic Powders Enclosed in Glass Vials, Sensors 2022, 22, 3560 <https://doi.org/10.3390/s22093560>

Referente: Jana Striova (jana.striova@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPCC

NOME STRUMENTO

Metodo ultrasonico (UPV)

INFORMAZIONI GENERALI:

La misura ultrasonica è un metodo completamente non invasivo che vede la sua applicazione in primis per la valutazione dello stato di conservazione, per l'individuazione di difetti interni di strutture in cemento/calcestruzzo. È possibile, con opportune configurazioni dello strumento, anche rilevare la presenza di strati con diverso stato di conservazione e di determinare fino a che profondità si estende una fessura visibile dalla superficie. La misura ultrasonica è stata anche applicata per la verifica di trattamenti consolidanti su pietre. Il principio su cui si basa la misura è legato al fatto che la velocità dell'impulso ultrasonico dipende dalle proprietà del mezzo che attraversa in particolare dalla densità e dalle caratteristiche elastiche. L'impulso è inviato da una sonda trasmittente e acquisito dalla sonda ricevente. La sonda è accoppiata alla superficie da analizzare con un materiale tipo vasellina, gel per ultrasuoni, plastilina in modo tale da ridurre al minimo la presenza di aria all'interfaccia tra sonda/superficie. La misura ultrasonica come detto può operare con diverse configurazioni dello strumento sia per ragioni di carattere investigativo sia per morfologia delle superficie (si veda figura 1). Ad esempio il metodo indiretto realizzato con distanze di percorso crescenti può essere utile per individuare eventuali cambiamenti nelle proprietà del cemento (da sano a alterato o viceversa) questo cambiamento si individua nel punto in cui varia la pendenza della curva del valore ultrasonico in funzione delle distanza. Esistono diversi tipologie di sonde ultrasoniche che operano con differenti frequenze e che permettono di investigare lunghezze di percorsi differenti.

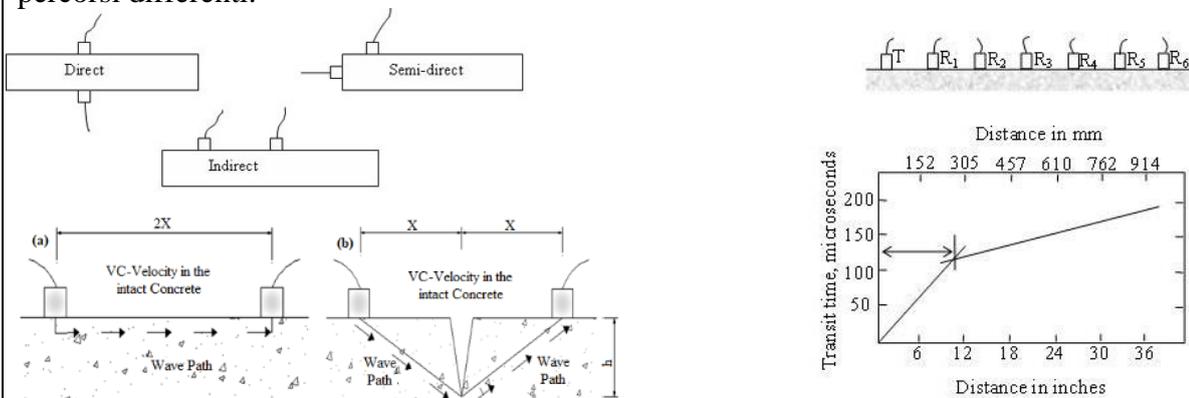


Figura 1. In alto: metodo diretto, semi-diretto, indiretto; in basso: configurazione per determinare profondità crack; a lato: configurazione per individuare cambiamenti nelle proprietà del materiale

DETTAGLI TECNICI:

Strumentazione:

Lo strumento in dotazione è un Matest C369N equipaggiato con sonde da 55kHz (Figura 2)

Applicazioni:

Valutazione dello stato di conservazione e presenza di strati con diverso stato di conservazione, individuazione di difetti interni di strutture in cemento/calcestruzzo; determinazione estensione in profondità di fessure; valutazione di trattamenti consolidanti su pietre; la misura ultrasonica viene utilizzata come riferimento per test di invecchiamento accelerato (tipo gelo-disgelo).



Figura 2. (a) strumento ultrasonico Matest C369N; (b) test in situ presso la Torre intitolata ai caduti del secondo conflitto mondiale (Torricella Peligna, CH)

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- BS 1881-203 Testing Concrete - Part 203: Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete

- UNI EN 12504-4:2005 Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici;

- ASTM C597 – 16 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete

-M. T. A. Silva, J. H. A. Rocha, E. C. B. Monteiro , Y. V. Póvoas , E. R. Kohlman Rabbani (2018.) Evaluation of the ultrasound test for estimating the depth of cracks in concrete. *Revista ALCONPAT*, 9 (1), pp. 79–92, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i1.289>

- Wahyu Wuryanti (2019). Determination residual strength concrete of post-fire using ultrasonic pulse velocity. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 620 (2019) 012064 doi:10.1088/1757-899X/620/1/012064

-Piotr Wiciaka, Giovanni Cascante, Maria Anna Polak Sensor and dimensions effects in ultrasonic pulse velocity measurements in mortar specimens. *Procedia Engineering* 193 (2017) 409 – 416

-Ana P. Ferreira Pinto, José Delgado Rodrigues (2012). Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants. *Journal of Cultural Heritage* 13 (2012) 154–166

Referente: Silvia Rescic (silvia.rescic@cnr.it)

LABORATORIO: SMAArt-UNIPG

NOME STRUMENTO

Sistema spettroscopico integrato per Riflettanza e Fluorescenza UV-VIS-NIR (prototipo)

INFORMAZIONI GENERALI:

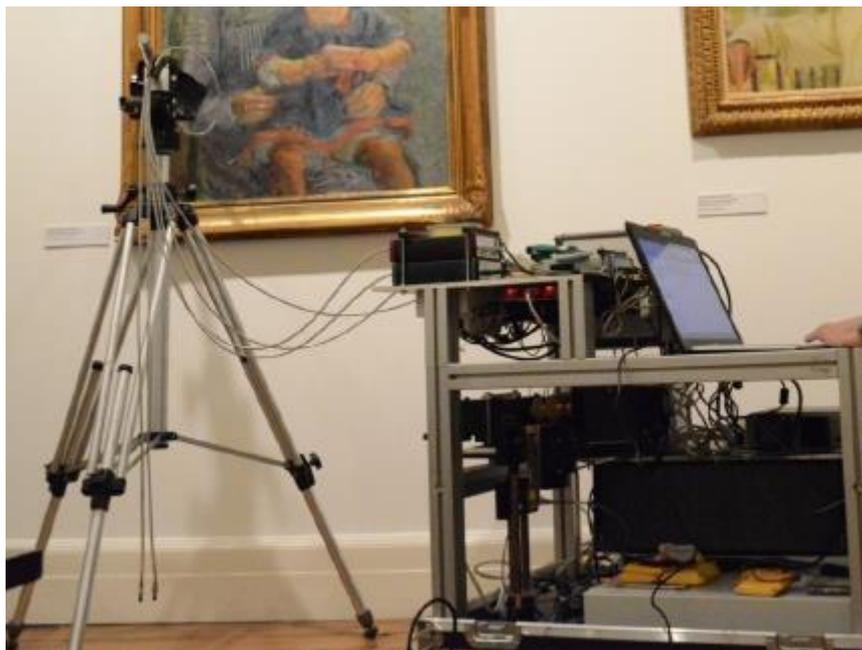
Le spettroscopie di riflettanza e fluorescenza UV-VIS-NIR *in situ* sono diventate, negli ultimi anni, una tecnica non invasiva efficace per l'identificazione di diversi materiali organici e inorganici utilizzati nella produzione di oggetti d'arte come dipinti, manoscritti, tessuti, ecc. A tal fine, le misure di fluorescenza sono particolarmente indicate per la caratterizzazione di coloranti organici e pigmenti luminescenti come, ad esempio, l'ossido di zinco, i pigmenti a base di cadmio ed il Blu Egizio. Inoltre, fluorofori diversi con spettri di emissione simile possono essere talvolta separati e riconosciuti sulla base del loro tempo di vita di emissione.

DETTAGLI TECNICI:

Il prototipo strumentale portatile è composto da diverse sorgenti luminose: una lampada deuterio-alogeno compatta per le misure di riflettanza; laser a stato solido e diodi laser per le misure di fluorescenza in stato stazionario; Diodi e LED pulsati per misure di tempi di vita di emissione nell'intervallo temporale dai ns ai ms.

Le sorgenti sono accoppiate con spettrometri CCD ad alta sensibilità che lavorano nell'intervallo spettrale UV-VIS-NIR e che permettono di acquisire spettri di riflettanza tra 200-1600 nm e spettri di luminescenza nell'intervallo 300-1600 nm. I tempi di vita possono essere misurati per le specie che emettono nell'intervallo spettrale 350-850 nm.

Un sistema in fibra ottica dedicato consente di effettuare misure su qualsiasi superficie con una risoluzione spaziale inferiore a 2 mm².



RIFERIMENTI:

- Romani A., Clementi C., Miliani C. and Favaro G., "Fluorescence Spectroscopy: a powerful technique for the non-invasive characterization of artworks", *Account Chem. Res.*, 43, 837- 846

- Romani A., Clementi C., Miliani C., Brunetti B.G., Sgamellotti A. and Favaro G., “Portable equipment for luminescence lifetime measurements on surfaces”, *Applied Spectroscopy*, 62, 1395-1399 (2008).
- Romani A., “Steady-state and time-resolved luminescence for in-situ characterization of polychrome artworks”, *Luminescence*, 23, 262-263 (2008).

Referente: Aldo Romani (aldo.romani@unipg.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: SMAArt-UNIPG (1)
CNR-SCITEC (2)

NOME STRUMENTO

1. Spettrometro integrato per Riflettanza e Fluorescenza UV-VIS-NIR (prototipo) (200-1600 nm)
2. Spettrometro ad alta risoluzione ASD FieldSpec® 4 Hi-Res (350-2500 nm)

INFORMAZIONI GENERALI:

Le spettroscopie di riflettanza e fluorescenza nella finestra spettrale UV-VIS-NIR sono ampiamente utilizzate come tecniche portatili e non invasive per l'identificazione di diversi materiali organici e inorganici utilizzati nella produzione di oggetti d'arte come dipinti, manoscritti, tessuti, ecc. Sfruttando gli assorbimenti dovute alle transizioni elettroniche e vibrazionali in corrispondenza dell'ampia finestra spettrale che va dal visibile fino allo SWIR (400-2500 nm) è possibile identificare la maggior parte dei pigmenti e caratterizzare numerosi materiali organici. La possibilità di lavorare anche in modalità di emissione permette di acquisire i caratteristici profili di fluorescenza e di identificare alcuni coloranti organici e pigmenti luminescenti come, ad esempio, l'ossido di zinco, i pigmenti a base di cadmio ed il Blu Egizio. Un'ulteriore distinzione può essere fatta in presenza di fluorofori che pur presentando spettri di emissione simile sono caratterizzati e quindi riconosciuti grazie ai loro diversi tempi di vita di emissione.

DETTAGLI TECNICI:

1. Spettrometro integrato per Riflettanza e Fluorescenza UV-VIS-NIR (prototipo) (200-1600 nm)

Il prototipo strumentale portatile è composto da diverse sorgenti luminose che permettono le acquisizioni nelle diverse modalità di misura (riflessione, emissione stazionaria e emissione risolta nel tempo): una lampada deuterio- alogena compatta per le misure di riflettanza; laser a stato solido e diodi laser per le misure di fluorescenza in stato stazionario; diodi e LED pulsati per misure di tempi di vita di emissione nell'intervallo temporale dai ns ai ms. Le sorgenti sono accoppiate con spettrometri CCD ad alta sensibilità che lavorano nell'intervallo spettrale UV-VIS-NIR e che permettono di acquisire spettri di riflettanza tra 200-1600 nm e spettri di luminescenza nell'intervallo 300-1600 nm. I tempi di vita possono essere misurati per le specie che emettono nell'intervallo spettrale 350-850 nm. Un sistema in fibra ottica dedicato consente di effettuare misure su qualsiasi superficie con una risoluzione spaziale inferiore a 2 mm².



2. Spettrometro ad alta risoluzione ASD FieldSpec® 4 Hi-Res (350-2500nm), Malvern Panalytical

Lo strumento è costituito da tre detector: un array composto da 512 elementi al silicio che copre l'intervallo spettrale 350-1000 nm, e due fotodiodi InGaAs per l'intervallo spettrale 1000-1800 nm e 1800-2500 nm. La risoluzione spettrale dello strumento è di 3 nm nel campo del VNIR (350-1000 nm) e di 10 nm nel campo dello SWIR (1000-2500 nm). Uno spettro completo può essere acquisito in 0.1 secondi.

Lo strumento è fornito di una fibra ottica lunga 1 m direttamente connessa allo spettrofotometro con FOV di 25°. Utilizzando una illuminazione esterna costituita da una lampada al quarzo-tungsteno da 12V con raffreddamento ventilato (posta a 45° rispetto alla superficie) e la fibra permanente (posta perpendicolarmente alla superficie), si possono effettuare misure con geometria CIE 45/0. La risoluzione laterale in questo assetto è dettata dalla distanza di lavoro: indicativamente, l'area di misura è circa la metà della distanza di lavoro. Alternativamente, lo strumento è dotato di due sistemi di fibre ottiche biforcute (con grande e piccolo diametro) che possono essere collegate alla fibra permanente e ad una sorgente esterna con potenza nominale 12VDC, 30W. La sonda a fibre ottiche biforcute di grande diametro (*large diameter reflectance probe*), è costituita da 156 fibre (nucleo 200 micron), 78 fibre per la sorgente di eccitazione e 78 per la raccolta della luce riflessa, l'estremità d'acciaio inossidabile ha un diametro di 6,3 mm. La fibra a largo diametro può essere utilizzata con una sonda di raccolta per luce diffusa a circa 20°. La sonda a fibre ottiche biforcute di piccolo diametro (*small diameter reflectance probe*) è costituita invece da 6 fibre di illuminazione (600 micron) che circondano una singola fibra di raccolta (600 micron), l'estremità d'acciaio inossidabile ha un diametro di 3,1mm.

Lo Spectralon™ viene impiegato per la calibrazione del bianco. RS3 Software Package è utilizzato per l'acquisizione dei dati. Lo strumento è compatto ed equipaggiato con zaino e batterie per condurre misure in piedi in autonomia.



RIFERIMENTI:

- Romani A., Clementi C., Miliani C. and Favaro G., "Fluorescence Spectroscopy: a powerful technique for the non-invasive characterization of artworks", *Account Chem. Res.*, 43, 837- 846 (2010).
- Romani A., Clementi C., Miliani C., Brunetti B.G., Sgamellotti A. and Favaro G., "Portable equipment for luminescence lifetime measurements on surfaces", *Applied Spectroscopy*, 62, 1395-1399 (2008).
- Romani A., "Steady-state and time-resolved luminescence for in-situ characterization of polychrome artworks", *Luminescence*, 23, 262-263 (2008).

- Pallipurath A.R., Skelton J.M., Ricciardi P., Elliott S.R., “Estimation of semiconductor-like pigment concentrations in paint mixtures and their differentiation from paint layers using first-derivative reflectance spectra”, *Talanta*, 154, 63-72. (2016).

Referenti: 1) Aldo Romani (aldo.romani@unipg.it)
2) Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR ISPC - XRAYLab

NOME STRUMENTO

Diffrattometro a raggi X sviluppato da XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

La diffrazione a raggi X (XRD) consente di determinare le fasi mineralogiche caratterizzanti i materiali oggetto di studio. A differenza delle tecniche analitiche elementari come la nota tecnica XRF, la tecnica XRD fornisce informazioni sulla natura dei composti chimici (anche in miscele complesse) e sulla loro struttura.

Data la natura cristallina di differenti tipologie di materiali antichi, la tecnica XRD è particolarmente indicata nelle analisi di campioni archeologici e di interesse storico artistico. In particolare, trova applicazione nella determinazione della natura dei pigmenti e dei loro prodotti di degrado in opere pittoriche su qualsiasi supporto (legno, pergamena, affreschi, pitture murali) e nello studio di patine di corrosione e degrado.

Il sistema mobile XRD sviluppato presso XRAYLab di ISPC opera la diffrazione di campioni policristallini sfruttando la geometria a fasci paralleli che presenta il vantaggio, rispetto alla diffrazione applicata con sistemi convenzionali, di avere la sorgente X e il campione fissi e di operare la scansione angolare alla Bragg con il solo sistema di rivelazione. Questo permette di ottenere pattern di diffrazione accurati, meno affetti da shift angolari e una più elevata risoluzione. La tecnica è non-invasiva e non necessita di alcuna preparazione dei campioni.

Guida alla scelta della tecnica XRD di ISPC

Campioni: materiali policristallini

Casi ottimali di applicazione: pitture su qualsiasi supporto, patine di corrosione e degrado.

Posizionamento del campione: verticale

Tipologia di applicazione: non distruttiva e in situ (anche su ponteggi).

Tempi di misura: circa 30 minuti per punto per le fasi maggiori

Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di Fe, 50kV e 0.6mA (potenza 30W)

Dimensione del fascio sul punto di misura: circa 600 micron

Risoluzione angolare dei pattern di diffrazione: circa 0.15 gradi

Distanza dello strumento dal campione: 10 cm

Analisi quantitativa XRD: possibile nei casi miscele di composti omogenee e a geometria piana

Altre tecniche presenti nello strumento: acquisizione simultanea di pattern XRD e spettro XRF nello stesso punto di misura

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema XRD sviluppato presso il laboratorio XRAYLab di ISPC è un sistema modulare mobile ottimizzato per operare *in situ*. Il sistema consiste di una testa di misura equipaggiata con una sorgente X microfocus da 30W con anodo di Fe accoppiata ad un'ottica policapillare a raggi paralleli. Lo spot del fascio sul campione in esame è pari a circa 600 micron. La rivelazione del

pattern di diffrazione diffuso dai campioni avviene mediante un rivelatore Si-PIN. La scelta della lunghezza d'onda (energia) da utilizzare nella diffrazione (tipicamente la riga caratteristica K-alfa del materiale anodico) viene selezionata tramite un filtro digitale operante sul DXP (Digital X-ray Processor) del rivelatore. Durante le misure è possibile acquisire simultaneamente il pattern XRD e lo spettro XRF per lo stesso punto di misura.

La sorgente X e il rivelatore operano su una meccanica goniometrica di tipo theta-theta avente raggio pari a 15cm. Il fascio X a raggi paralleli consente di mantenere ferma la sorgente durante le misure ad un angolo di circa 10 gradi, mentre il rivelatore opera la scansione angolare automatizzata in un range compreso tra 12 e 70 gradi. Il campione viene posizionato fuori dal cerchio goniometrico. L'allineamento del campione avviene tramite un sistema di puntamento con due laser.

Durante le misure, la testa diffrattometrica è sostenuta da un treppiedi che consente il posizionamento sull'area da investigare del campione, tenuto in posizione verticale (su un supporto o su una parete). Le misure XRD hanno una durata tipica di circa 30 minuti.

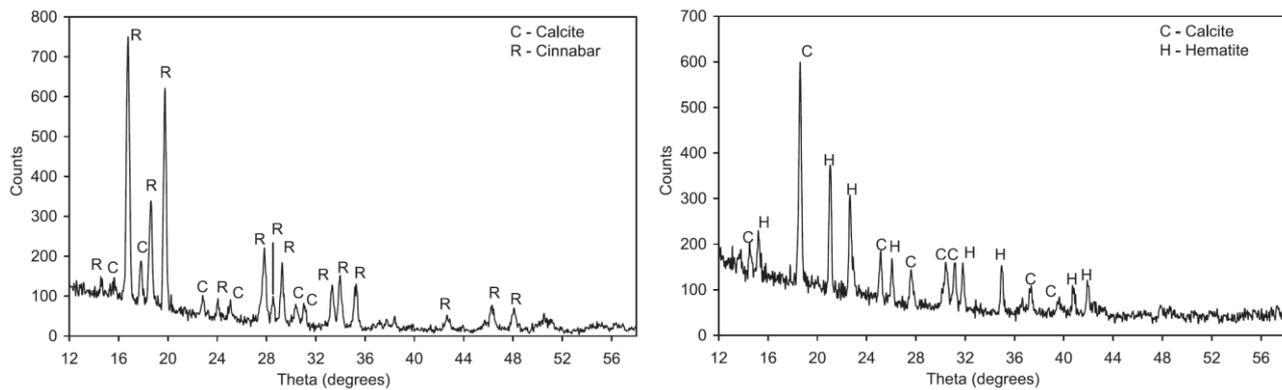
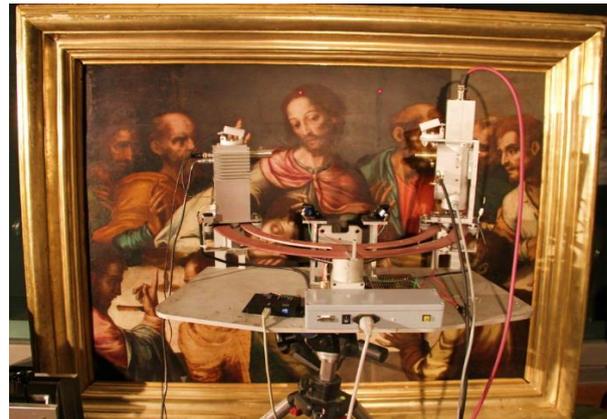


Figura: Risultati analitici della tecnica XRD nello studio di miscele di pigmenti su affreschi di epoca Romana.



Il sistema XRD in uso durante le analisi dell'Ultima Cena del pittore fiammingo Luis de Morales e di un busto rappresentante la dea Demetra di epoca ellenistica.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- F.P. Romano, et al., The new version of the portable XRD system of the LANDIS laboratory, Il Nuovo Cimento 121 (2005) 881-885.
- G. Gatto Rotondo, et al., Non-destructive characterization of fifty various species of pigments of archaeological and artistic interest by using the portable X-ray diffraction system of the LANDIS

laboratory of Catania (Italy), *Microchemical Journal* 96 (2010) 252–258.

- F.P. Romano et al., The compositional and mineralogical analysis of fired pigments in Nasca pottery from Cahuachi (Peru) by the combined use of the portable PIXE-alpha and portable XRD techniques, *Microchemical Journal* 99 (2011) 449–453.
- L. Pappalardo, et al., The complementary use of PIXE-alpha and XRD non-destructive portable systems for the quantitative analysis of painted surfaces, *X-Ray Spectrometry*, 37 (2008) 370–375.

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

Strumento XRF portatile XGLab ELIO

INFORMAZIONI GENERALI:

Il nuovo strumento XRF portatile disponibile nel MOLAB è progettato per analisi in situ essendo estremamente maneggevole, veloce e completamente non invasivo. Questa tecnica permette la determinazione della composizione elementale ($Z > 12$) dei materiali, ed il suo utilizzo è di grande interesse nel campo dei beni culturali per l'analisi di dipinti, manoscritti, monumenti, metalli etc. L'informazione ottenuta è utile per formulare prime ipotesi riguardo l'identificazione dei pigmenti inorganici presenti, evidenziando anche la presenza di *pentimenti*, ritocchi etc.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento XRF portatile ELIO è dotato di un rivelatore di tipo Silicon Drift Detector (SDD) con un'area attiva di 25mm^2 e una risoluzione in energia alla riga $K\alpha$ del Mn di 130 eV con 10 kcps di fotoni in ingresso (modalità di alta risoluzione), o di 170 eV con 200 kcps di fotoni in ingresso (modalità veloce). Lo strumento è dotato di un analizzatore multicanale (MCA) ad 8k canali molto veloce (USB 2.0) caratterizzato da alta risoluzione ed elevata capacità di conteggio. La sorgente di eccitazione è un tubo a raggi X a trasmissione dotato di un anodo di Rh, con una corrente tra i 5 e i $200\ \mu\text{A}$, un voltaggio che può andare da 10 a 40 kV, e collimatore di 1mm. ELIO è inoltre dotato di due puntatori laser (assiale e focale) e una micro-camera interna che permette la messa a fuoco della regione specifica di analisi. Il prototipo è inoltre provvisto di cavalletto regolabile in altezza (43-188cm).



Figura: Condizioni operative dello spettrometro XRF Elio durante misure in situ.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- C. Miliani, F. Rosi, B. G. Brunetti, A. Sgamellotti, In situ Non-invasive Study of Artworks: The MOLAB Multitechnique Approach, *Acc. Chem. Res.*, 2010, 43 (6), 728-738
- V. Capogrosso, F. Gabrieli, S. Bellei, L. Cartechini, A. Cesaratto, N. Trcera, F. Rosi, G. Valentini, D. Comelli and A. Nevin, An integrated approach based on micro-mapping analytical techniques for the detection of impurities in historical Zn-based white pigments, *J. Anal. At. Spectrom.*, 2015, 30, 828-838

Referente: Laura Cartechini (laura.cartechini@cnr.it)

IMAGING/MAPPING TECHNIQUES

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Digital Holographic Speckle Pattern Interferometer (DHSPI)

INFORMAZIONI GENERALI:

La Digital Speckle Pattern Interferometry (DHSPI) è una metodologia ottica non distruttiva in grado di identificare, visualizzare e misurare i difetti – anche non visibili- di una superficie a seguito una sollecitazione. Tale metodologia può quindi verificare lo stato di un’opera d’arte senza necessità di alcun tipo di contatto ed inoltre può essere utilizzata per un’azione di monitoraggio, andando a visualizzare le frequenze naturali dell’oggetto in analisi, e osservandone le modifiche al variare delle condizioni ambientali.

Un’immagine di tipo interferometrico viene ottenuta sovrapponendo su una CCD un fascio laser di riferimento e la radiazione retrodiffusa della superficie in esame quando illuminata dalla stessa radiazione laser ad alta coerenza spaziale. Sottoponendo la superficie da analizzare ad una sollecitazione (ad esempio di tipo termico mediante lampade IR) si osserverà un’evoluzione delle figure di interferenza, ognuna delle quali, opportunamente filtrata, e analizzata, offrirà una misura della deformazione fuori del piano in multipli della metà della lunghezza d’onda della radiazione utilizzata. Tale tecnica può essere utilizzata con successo su opere d’arte sia per misure non distruttive dello stato di conservazione, sia per monitoraggio delle stesse. Può essere utile per un’analisi non invasiva e non a contatto delle superfici mettendo in evidenza la presenza di crepe vuoti e distacchi su affreschi. Può inoltre – identificando difetti non ancora visibili- consentire ipotesi nell’evoluzione di problemi presenti guidando gli interventi conservativi.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema DHSPI messo a disposizione dalla Sede Secondaria di Pozzuoli di CNR- INO utilizza una sistema laser emettente fino a 300mW a 532 nm, con un fascio gaussiano di tipo TEM00 ed una lunghezza di coerenza > 30m.

Con l’obiettivo standard da 25mm attualmente in uso si possono effettuare misure con un FOV di 30cm alla distanza di 1 metro.

Il segnale viene raccolto da una CCD con un sensore di 3.6MPx.

La risoluzione in z della deformazione è pari alla metà della lunghezza d’onda della radiazione utilizzata, quindi 266nm.

Figura: immagine della testa interferometrica.





Figura: esempio di analisi interferometrica di provino con difetto noto



Figura: foto del sistema in acquisizione

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Laser interference-based techniques and applications in structural inspection of works of art
Vivi Tornari
Anal Bioanal Chem (2007) 387:761–780 DOI 10.1007/s00216-006-0974-4
- On development of portable digital holographic speckle pattern interferometry system for remote-access monitoring and documentation in art conservation.
Tornari V.
Strain. 2019;55: e12288. <https://doi.org/10.1111/str.12288>
- Impact of Relative Humidity on Wood Sample: A Climate Chamber Experimental Simulation Monitored by Digital Holographic Speckle Pattern Interferometry
Vivi Tornari , Thomas Basset, Michalis Andrianakis and Kyriaki Kosma
J. Imaging 2019, 5, 65; doi:10.3390/jimaging5070065
- A Combined Non-Invasive Approach to the Study of A Mosaic Model: First Laboratory Experimental Result
Antonina Chaban, Vivi Tornari, Rita Deiana, Michalis Andrianakis, David Giovannacci, and Vincent Detalle
Article in Journal of Imaging · June 2019 DOI: 10.3390/jimaging5060058

Referente: Alessandra Rocco (alessandra.rocco@ino.cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Microscopio digitale 3D e 2D

INFORMAZIONI GENERALI:

Il Microscopio digitale 3D è uno strumento disponibile nel MOLAB per l'acquisizione digitale di immagini e video ad alto ingrandimento ed elevata risoluzione relative alla morfologia e texture di superfici di beni culturali; per l'analisi di patine o trattamenti di restauro su manufatti in pietra, metallo o legno; cretature e stratigrafie complesse di dipinti, manoscritti e opere d'arte contemporanea; residui, segni e tracce d'uso su reperti archeologici.

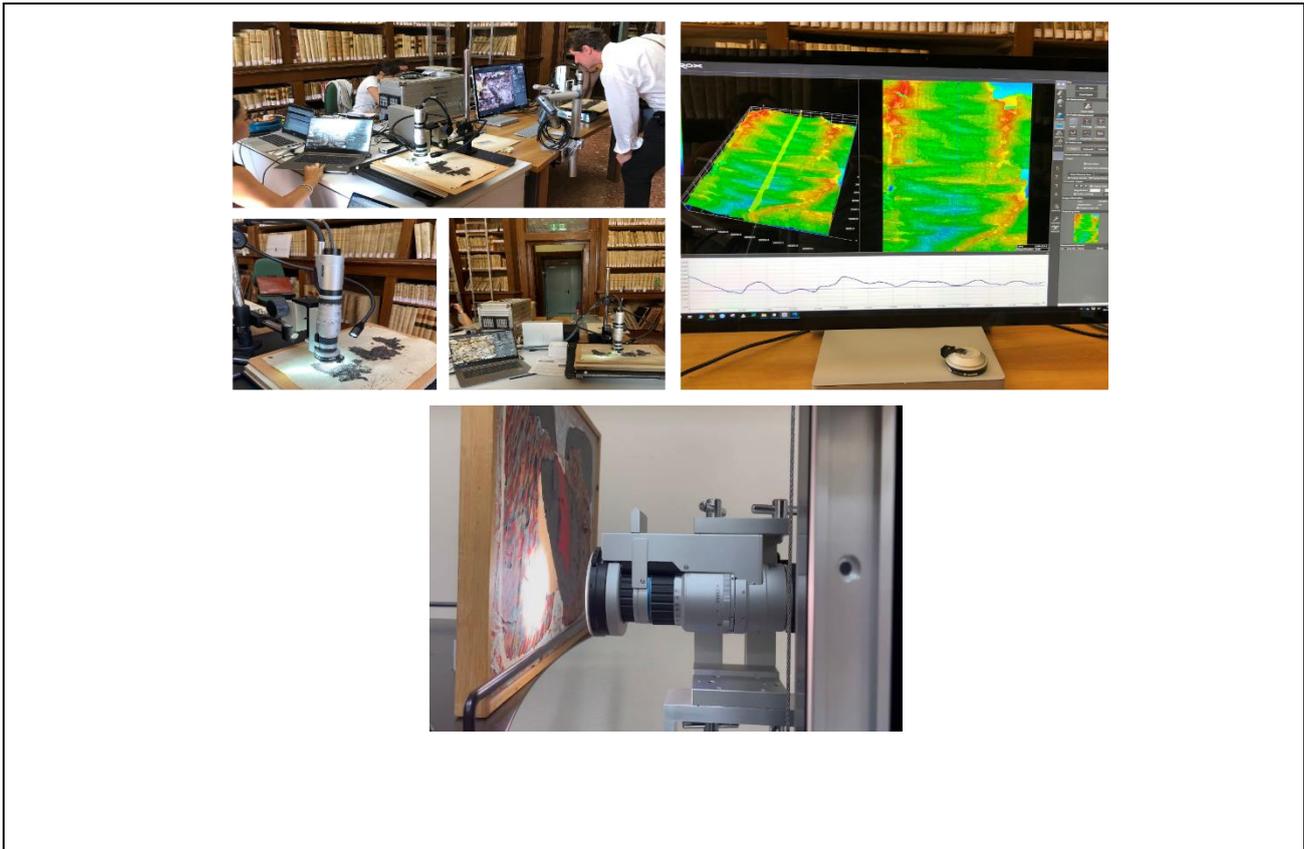
In particolare, la tecnica consente di effettuare:

- misurazioni 2D (distanze, angoli, raggi, aree, perimetri, etc.) delle superfici di manufatti artistici, dettagli delle pellicole pittoriche, presenza di residui e tracce d'uso su manufatti e reperti archeologici;
- misurazioni 3D (profilometria della superficie con risoluzione micrometrica, volume delle cavità e degli accumuli di materiale, etc.) di manufatti, patine di alterazione, materiali sovrapposti, segni e micro-tracce su manufatti e reperti archeologici;
- scansioni digitale ad alta risoluzione (gigapixel) di opere pittoriche, incisioni e manoscritti su diversi tipi di supporto fino all'area massima di corsa dello stage XY (circa 500x500mm).

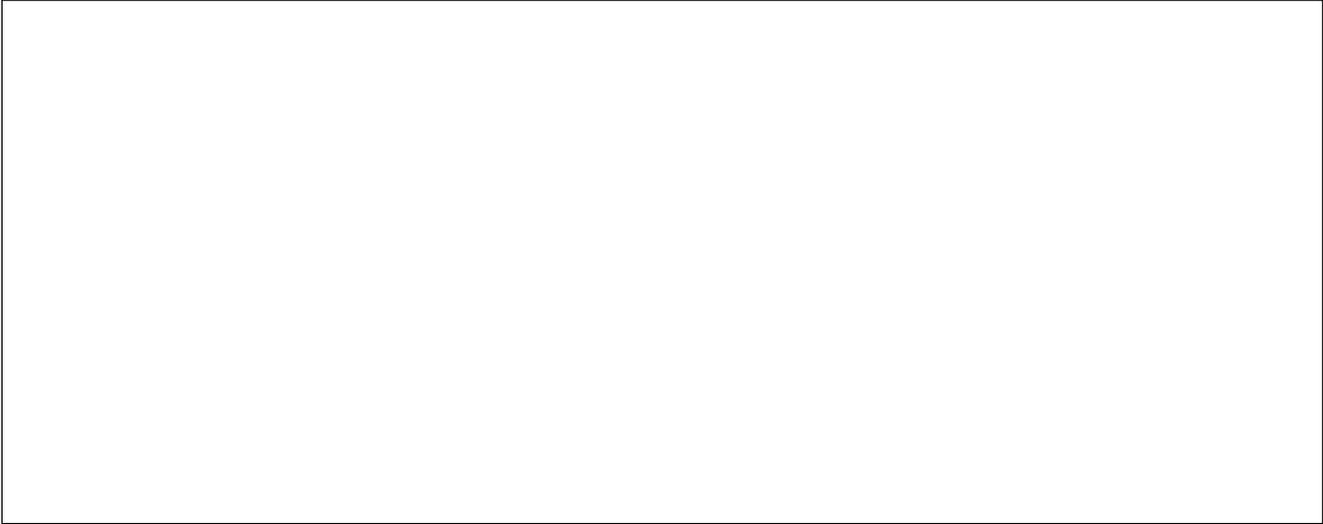
DETTAGLI TECNICI:

Il Microscopio digitale 3D Hirox RX-100 è dotato di:

- 2 ottiche per ingrandimenti da 6x fino a 2500x.
- Ottica rotante motorizzata per analisi a 360° senza la manipolazione del campione (immagini e video), con ingrandimenti da 20x a 140x.
- Stage per stativo fisso e piano scorrevole manuale XY di 500x500 mm.
- Stage con sistema motorizzato XYZ per l'analisi di opere in verticale con step di 0,2 micrometri e una massima velocità di movimento XY di 10 mm/sec. Il multifocus motorizzato sull'asse Z consente l'acquisizione di modelli 3D della superficie molto accurati, esportabili come nuvola di punti per micro-profilometria ed analisi topografica della superficie dell'opera analizzata. Lo strumento può scansionare e mappare in 3D automaticamente ricostruendo l'immagine (tiling) ad altissima risoluzione. L'immagine può essere condivisa e facilmente esplorata mediante un software viewer open access.



Referenti: Loredana Luvidi (loredana.luvidi@cnr.it)
Valeria Di Tullio (valeria.ditullio@cnr.it)



LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Termocamera IR: FLIR, model B425

INFORMAZIONI GENERALI:

La termocamera in dotazione è uno strumento particolarmente maneggevole e adatto per applicazioni on site. La metodologia con la quale viene utilizzata più di frequente è per termografia passiva, più raramente le applicazioni della tecnica attiva si prestano all'impiego nell'ambito dei Beni Culturali. Le riprese termografiche sono utilizzate ai seguenti scopi:

- Rilevazione dei difetti/anomalie strutturali nelle murature
- Mappe termiche correlabile a fenomeni di umidità (di risalita capillare e infiltrazione di varia natura)
- Rilevazione di distacchi di intonaci, o altri paramenti murari.

L'integrazione delle riprese termografiche con misure del contenuto di umidità del supporto consentono di ottenere delle mappe sulla reale distribuzione del contenuto di umidità.

DETTAGLI TECNICI:

La termocamera IR model B425 (FLIR) ha una risoluzione dell'immagine IR di 320x240 pixels resolution e un'accuratezza di +/- 0.5°C. Permette di realizzare mappe termiche una volta nota la temperatura e l'umidità relativa dell'ambiente, la distanza dalla superficie di ripresa e l'emissività della superficie.

Le immagini IR possono essere analizzate ed elaborate mediante il software ThermaCAM QuickReport 1.1.



Figura: Esempio di ripresa termografica della struttura in cemento armato della Chiesa di Santa Maria Addolorata, Pratozanino, Cogoletto.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- S. Bracci, et al. 2015. A multi-analytical approach to monitor three outdoor contemporary artworks at the Gori Collection (Fattoria di Celle, Santomato, Pistoia, Italy). Microchemical

Journal (Available online 21 July 2015)

- V. Raimondi et al. 2015. An integrated multi-medial approach to cultural heritage conservation and documentation: from remotely-sensed lidar imaging to historical archive data. SPIE 9644, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VI, 96440C (October 20, 2015)

Referente: Cristiano Riminesi (cristiano.riminesi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Termocamera FLIR VUE PRO R, 640

INFORMAZIONI GENERALI:

Termocamera per droni per analisi termografica di architetture storiche ai fini del loro miglioramento energetico ambientale.

L'analisi permette, in integrazione con altre analisi di identificare ponti termici di forma e struttura, indagare l'emissività dei materiali, supportare la classificazione delle tipologie murarie presenti e l'impiego di altre analisi per la caratterizzazione termofisica dei materiali come la termoflussimetria, identificare problemi di posa in opera dei materiali e discontinuità, indagare le prestazioni di vetri e telai (emissività, differenze di resistenza termica, errori di posa, infiltrazioni di aria e acqua), studiare le infiltrazioni di aria e le infiltrazioni risalite o perdite di acqua sull'involucro e la presenza di condensa.

DETTAGLI TECNICI:

Termocamera per droni FLIR VUE PRO R, 640x512 pixels, 19mm, 9Hz FLIR VUE PRO R, 640, 19mm, 9Hz, FOV 32x26

Referente: Elena Gigliarelli (elena.gigliarelli@cnr.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Termocamera TESTO 890

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo strumento Termocamera TESTO disponibile nel MOLAB è utilizzabile per le indagini in situ essendo estremamente maneggevole (253 x 132 x 111 mm ed un peso <2Kg).

La telecamera riesce a convertire l'infrarosso (non visibile), in un'immagine visibile mostrando la distribuzione delle temperature sulla superficie dell'oggetto misurato senza contatto diretto tra l'oggetto da analizzare e la termocamera.

A seconda della temperatura, viene assegnato un colore differente e la matrice risultante viene inviata alla memoria ed al display della termocamera come immagine di temperatura (termica) dell'oggetto.

Nell'ambito dei Beni Culturali è possibile acquisire termogrammi di qualità anche a distanze notevoli, oppure quando serve un'altissima risoluzione termica dei pixel per rilevare quadri fessurativi o tessiture murarie.

Insieme a ciascuna immagine termica è possibile acquisire anche un'immagine reale ben illuminata. La termocamera può essere utilizzata in congiuntura con il sistema olografico DHSPI.

DETTAGLI TECNICI:

- Risoluzione IR 640x480pixel (Super risoluzione 1280x960
- Sensibilità termica (NETD) < 40 mK a +30 °C
- Campo visivo / Distanza min. di messa a fuoco 25° x 19° / 0,2 m (obiettivo da 25°)
- SuperResolution 1280 x 960 Pixel / 0,43 mrad (obiettivo da 25°)
-



Figura: termocamera Testo

MAGGIORI INFORMAZIONI:

-

Referente: Alessandra Rocco (alessandra.rocco@ino.cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Termocamera T1020 28° FLIR

INFORMAZIONI GENERALI:

Termocamera HD per analisi di architetture storiche ai fini del loro miglioramento energetico ambientale.

L'analisi con questi strumenti permette, in integrazione con altre analisi di identificare ponti termici di forma e struttura, indagare l'emissività dei materiali, supportare la classificazione delle tipologie murarie presenti e l'impiego di altre analisi per la caratterizzazione termofisica dei materiali come la termoflussimetria, identificare problemi di posa in opera dei materiali e discontinuità, indagare le prestazioni di vetri e telai (emissività, differenze di resistenza termica, errori di posa, infiltrazioni di aria e acqua), studiare le infiltrazioni di aria e le infiltrazioni risalite o perdite di acqua sull'involucro e la presenza di condensa.

DETTAGLI TECNICI:

Termocamera HD T1020 28° FLIR

Termocamera ad infrarossi con risoluzione 1024x768 pixels e sensibilità 0,02°C. Camera equipaggiata con lente 28°x21°, campo di temperatura da -40°C a +2000°C; autofocus assistito continuo; bussola e GPS integrati. Ottiche aggiuntive:

- T1020 IR Lens 12° IR lens f=83.4mm (12°) with case (T10XX)
- T1020 IR Lens 45° IR lens f=21.2mm (45°) with case (for T1020)

Referente: Elena Gigliarelli (elena.gigliarelli@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

IRIS XGLab/Bruker: Spettrometro combinato per fluorescenza a raggi X e riflettenza Vis-NIR in scansione

INFORMAZIONI GENERALI:

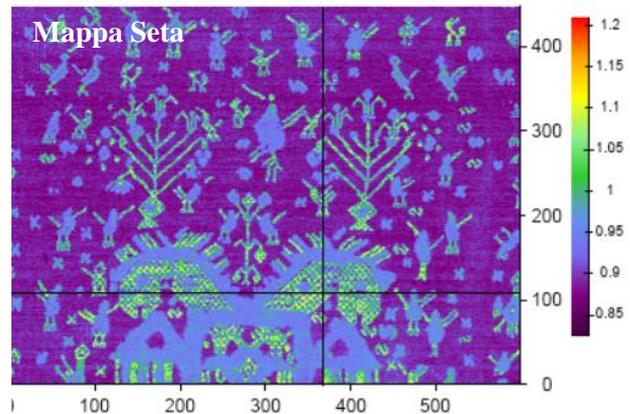
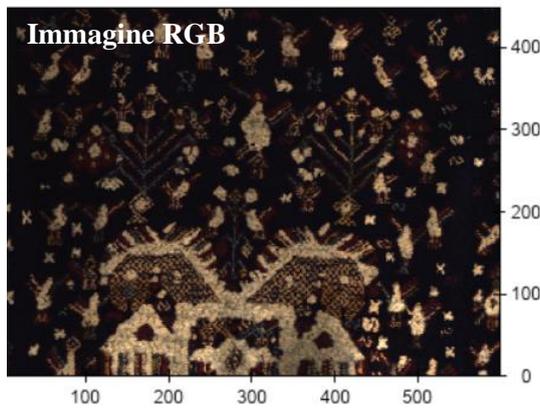
IRIS è uno strumento innovativo per misure combinate in scansione di spettroscopia di fluorescenza a raggi X e di spettroscopia Vis-NIR in riflessione. La spettroscopia di fluorescenza a raggi X a scansione (MAXRF) consente la mappatura multi-elementale (elementi con numero atomico $Z > 12$) di macro-aree sulla superficie di un manufatto in modo non invasivo. In modo analogo l'analisi in scansione mediante spettroscopia Vis-NIR in riflessione consente l'acquisizione di immagini iperspettrali in un ampio intervallo spettrale (400-2500nm) che forniscono informazioni sia sulla distribuzione e che sulla natura chimica di pigmenti e, in generale, di componenti inorganiche (bande elettroniche, bande vibrazionali armoniche e di combinazione), e di componenti organiche (bande vibrazionali armoniche e di combinazione dei materiali organici naturali e sintetici) presenti sulla superficie indagata.

In IRIS l'informazione ottenuta dalle due tecniche viene raccolta in modo combinato per ogni punto della superficie scansionata integrando l'informazione chimica elementare con quella molecolare. Queste informazioni vengono tradotte in mappe chimiche di grande utilità nell'ambito della scienza del patrimonio culturale per l'esame di superfici policrome e dell'eventuale disegno preparatorio o di inchiostri in documenti storici.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema IRIS di XGLab è dotato di una testa di misura compatta e leggera composta da una sorgente a raggi X con anodo Rh (10-50kV e 5-200 μ A) e da un Silicon Drift Detector (SDD) (50 mm², risoluzione di 130eV a MnK α) interfacciato ad un'elettronica digitale estremamente veloce. Nella testa di misura, è allocato un sistema di fibre ottiche in uscita ed entrata per le misure Vis-NIR in riflessione. La sorgente di eccitazione è una lampada alogena con uscita in fibra ottica ed emissione nel range 380- 2500 nm. Il sistema di rivelazione consiste in due spettrometri per coprire da 400-2500nm con risoluzione spettrale <2nm (400-1000 nm) e <9.5nm (1000-2500 nm). Il sistema è dotato di un video microscopio integrato per selezionare l'area da esaminare, mentre due puntatori laser consentono di controllare la distanza della testa di misura a 10 mm dalla superficie. Il fascio di raggi X può essere collimato sulla superficie del campione ad un diametro di 0,5, 1 o 2 mm, mentre la risoluzione spaziale delle misure Vis NIR è ~ 0.8 mm. Il tempo di integrazione è tipicamente 30-50ms per pixel.

La testa è montata su un telaio motorizzato XYZ (area di scansione 45 × 60 cm²) con movimento continuo in scansione. Il telaio è montato su un carrello che consente l'inclinazione della struttura tra -20° e +90° rispetto al piano orizzontale. La velocità di scansione può arrivare fino a 45 mm/sec, con un tempo di scansione che varia da poche decine di minuti a poche ore, in funzione della risoluzione spaziale e dell'area da scansionare.



MAGGIORI INFORMAZIONI:

R. Alberti, T. Frizzi, L. Bombelli, M. Gironda, N. Aresi, , F. Rosi, C. Miliani, G. Tranquilli, F. Talarico L. Cartechini (2017) CRONO: a fast and reconfigurable macro X-ray fluorescence scanner for in-situ investigations of heritage objects. X-RAY SPECTROMETRY.

Doi 10.1002/xr.s.2741

Manca, R., Burgio, L., Button, V., Browne, C., Turner, O. H., Rutherford, J., Cartechini, L., Doherty, B., Grazia, C., Paolantoni, M., Rosi, F., Barucci, M., Fontana R., Tournie, A., Andraud C, Michelin, A. (2019). Scientific analysis underpinning the multidisciplinary project “The Leman Album: an Enhanced Facsimile. *The European Physical Journal Plus*, 134(6), 267.

Doi 10.1140/epjp/i2019-12668-0

Referente: Laura Cartechini (laura.cartechini@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC - XRAYLab

NOME STRUMENTO

Scanner mobile rotazionale MA-XRF sviluppato da XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

La Macro X-ray Fluorescence (MA-XRF) è una tecnica analitica non-distruttiva basata sulla scansione dell'intera superficie del campione impiegando un fascio di raggi X di dimensioni di alcune centinaia di micron. La radiazione di fluorescenza X, indotta sul campione dal fascio primario, viene rivelata in funzione della posizione, consentendo così di ricostruire le immagini degli elementi chimici (inorganici) che lo compongono e come questi sono distribuiti spazialmente sulla superficie. Tali informazioni sono di notevole interesse nello studio di opere d'arte e materiale archeologico. Fino ad oggi, la tecnica MA-XRF ha trovato applicazione limitatamente ad oggetti con geometria piana (tipicamente dipinti). Tuttavia, diverse tipologie di oggetti culturali a geometria complessa trarrebbero notevoli benefici dall'applicazione della tecnica.

In tale contesto, il laboratorio XRAYLab di ISPC ha sviluppato il primo scanner mobile che consente l'analisi MA-XRF su oggetti tridimensionali. La tecnica MA-XRF, proposta in questa scheda per l'accesso MOLAB, è basata su una tecnologia mecatronica operante in real-time che opera simultaneamente una scansione lineare della testa spettroscopia ed una rotazionale dell'oggetto in misura. Ponendo l'oggetto tridimensionale su una tavola di rotazione (in movimento lento step-by-step con risoluzione fino a 1 mdeg) ed operando una scansione verticale continua della testa spettrometrica (fino a 100mm/sec) è possibile ottenere le mappe delle distribuzioni spettrali *srotolate* sul piano. L'applicazione combinata dell'imaging MA-XRF rotazionale con la tecnica fotogrammetrica ad alta risoluzione consente al tempo stesso di ricostruire il modello 3D dell'oggetto in misura. I dati MA-XRF e quelli della fotogrammetria vengono poi processati insieme da un apposito algoritmo in modo da avere una ricostruzione virtuale delle mappe elementali direttamente sul volume dell'oggetto in studio. Durante la scansione, per evitare contatti accidentali, operano anche diversi sistemi di correzione dinamica della distanza della testa spettrometrica dall'opera in esame e stop automatici di sicurezza. Le immagini delle distribuzioni elementali MA-XRF vengono fornite agli utenti in tempo reale, già durante la misura.

Guida sintetica per la scelta della tecnica MA-XRF di ISPC

Materiali: tutti i materiali di natura inorganica

Casi ottimali di applicazione: opere pittoriche su qualsiasi supporto tridimensionale

Posizionamento del campione: verticale

Tipologia di analisi: imaging, non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: 3 ore per coprire 360gradi x70cm con risoluzione pari a 500 micron.

Risoluzione massima: circa 50 micron

Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di Rh, 50Kv e 0.6mA (potenza 30W); anodo di Cr, 50 kV 0.6mA per misure specifiche a grande efficienza di elementi a basso numero atomico.

Sistema di rivelazione: Multi-rivelatore a due elementi SDD da 50mm² operante in parallelo

Altre tecniche presenti nello strumento: micro-XRF, MA-XRF imaging sul piano, XRF confocale. Per opere di piccole dimensioni sono anche disponibili XRD e Grazing-XRF.

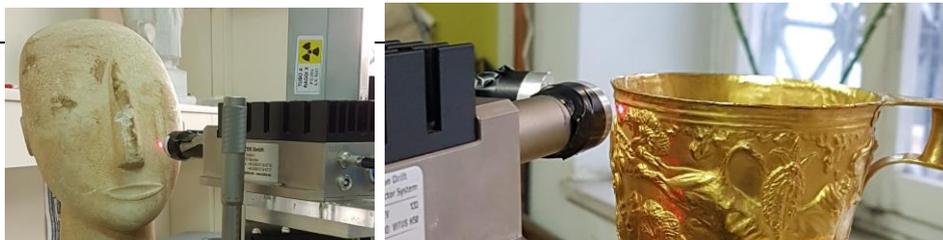
Specifiche analitiche: le immagini elementali sono fornite in tempo reale durante le misure con spettri XRF per pixel già deconvoluti (assenza di artefatti); il software di analisi consente in tempo reale di operare l'imaging-processing, correlazioni elementali RGB, scatter plot di correlazione, analisi statistica PCA, ICA e NMF, analisi degli spettri su singole regioni di interesse, spettro dei massimi (per identificare elementi in traccia o inclusioni localizzate)

Sicurezza: distanza dall'opera mantenute dinamicamente costante durante la misura e stop automatico in caso superamento di una soglia di avvicinamento di sicurezza.

DETTAGLI TECNICI

Lo scanner mobile MA-XRF rotazionale sviluppato presso il laboratorio XRAYLab di CNR-ISPC è un sistema mecatronico operante in tecnologia real-time. Il sistema consta di una testa di misura spettrometrica equipaggiata con tubo a raggi X microfoco con anodo di Rh da 30W accoppiato ad un'ottica policapillare focalizzante. Una seconda sorgente primaria di raggi X con anodo di Cr può essere alternata a quella di Rh per una migliore acquisizione delle immagini degli elementi chimici con righe spettroscopiche nella regione di bassa energia. Inoltre, l'uso combinato delle due sorgenti permette di separare le distribuzioni di uno stesso elemento chimico presente a diverse profondità stratigrafiche dell'opera (tipico esempio il bianco di piombo della preparazione da quello delle lueggature). La fluorescenza X indotta dalla radiazione primaria è rivelata in modalità evento da un sistema multi-rivelatore che contiene fino a 2 elementi SDD da 50mm² e risoluzione energetica <130eV a 5.9 keV, che operano in parallelo. La testa spettrometrica è montata su un sistema a 3 assi (XYZ) con corsa 110x70x20cm³ che permette di operare la scansione in modalità continua ad alta velocità (fino a 100 mm/sec) e con un tempo di permanenza per pixel fino a 10msec. L'oggetto da misurare viene posizionato su un asse di rotazione con corsa 360gradi e risoluzione massima 1 mdeg.

Il sistema è dotato di una CPU centrale per il controllo dei parametri operativi di misura e dei sistemi di sicurezza. La CPU gestisce: la sequenza di scansione; regola automaticamente i parametri della sorgente X e dei rivelatori per evitare degrado del tempo morto e risoluzione energetica negli spettri XRF dei singoli pixel; gestisce un interferometro laser a 750 frames/sec per la correzione dinamica della distanza di misura, in modo da evitare urti accidentali dello scanner con l'opera in esame; conserva le coordinate di scansione in modo da riprendere le analisi dalla stessa posizione in caso di pause prolungate o di fermo del sistema (ad es. pause notturne). Inoltre, la CPU opera l'analisi dinamica degli spettri-pixel applicando un'accurata procedura di fit e fornendo le immagini elementali in real-time senza artefatti. Il sistema a scansione è anche fornito di un software per l'analisi real-time delle immagini attraverso il quale è possibile effettuare la correlazione delle immagini (RGB), applicare strumenti logici-matematici, applicare analisi statistiche (ad es. PCA, ICA e NNMF), generare scatter-plot e esportare singoli spettri XRF selezionando una qualunque area (ROI) dell'immagine.



Analisi MA-XRF rotazionale condotta su oggetti tridimensionali presso il museo archeologico di Atene.



Ricostruzione tramite fotogrammetria del modello 3D della mappa MA-XRF rotazionale di un'urna ellenistica.

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Micro-profilometro laser a scansione

INFORMAZIONI GENERALI:

I sistemi per l'acquisizione di dati 3D hanno raggiunto, negli ultimi anni, un elevato grado di precisione grazie all'evoluzione della tecnologia laser. Questo ha reso possibile ottenere mappe topografiche a risoluzione micrometrica che consentono di quantificare dettagli tridimensionali delle superfici analizzate prima impensati. Il rilievo topografico ad alta risoluzione di superfici quasi piane si è dimostrato estremamente utile per quantificare l'entità dei distacchi e della *craquelure* nello strato pittorico, per documentare lo stato di conservazione del dipinto, per monitorare le deformazioni del supporto dovute ad agenti ambientali o i cambiamenti morfologici conseguenti a interventi di restauro. Mediante la micro-profilometria è possibile effettuare, in maniera completamente non a contatto e non-invasiva, il rilievo di una varietà di superfici, indipendentemente dalle loro proprietà cromatiche, di riflessione e diffusione.

DETTAGLI TECNICI:

Il micro-profilometro ottico realizzato presso CNR-INO è composto da una sonda conoscopica commerciale montata su due traslazioni lineari motorizzate ad alta precisione che scansionano una superficie di area massima $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ad una distanza di misura di 4 cm. Il risultato è una mappa topografica costituita da una griglia regolare di punti che contengono l'informazione di quota entro un intervallo di profondità (range di misura dello strumento) di 8 mm. Lo strumento ha una risoluzione assiale (in quota) di quasi $1 \text{ }\mu\text{m}$ con una precisione complessiva migliore di $6 \text{ }\mu\text{m}$, e una risoluzione laterale di $20 \text{ }\mu\text{m}$.

L'intero sistema è controllato via computer: è possibile impostare la dimensione dell'area di misura, la distanza di campionamento nelle due direzioni di scansione, la potenza del laser e la frequenza di acquisizione. Il tempo di acquisizione dipende dai parametri di misura impostati, e aumenta all'aumentare della distanza di campionamento (ad esempio, alla massima velocità di scansione, per l'acquisizione di un'area di $30 \times 30 \text{ cm}^2$ con passo di campionamento $100 \text{ }\mu\text{m}$ occorrono circa 2.5 h).

Lo strumento consente il rilievo di superfici di varia riflettività, con un angolo di incidenza molto vicino all'angolo radente (cioè è possibile effettuare scansioni con un'incidenza quasi parallela alla superficie). Inoltre, non essendo sensibile ai gradienti di colore, la misura è efficace anche su superfici caratterizzate da un elevato contrasto cromatico. Le mappe topografiche possono essere visualizzate sia mediante software per l'analisi di modelli 3D sia come immagini in scala di grigio o mappe a colori. È poi possibile elaborare tali immagini in modo da simulare la direzione di provenienza della luce, ottenendo un risultato molto simile alla tradizionale fotografia in luce radente senza però l'informazione di colore che può essere sovrapposta in un secondo tempo.

Il dato 3D ottenuto, infatti, può essere efficacemente integrato con le informazioni provenienti da altre tecniche di analisi ad immagine (immagine a colori, riflettografia IR, immagine UV, ...). Ciò facilita l'interpretazione dei risultati, permettendo un'identificazione immediata delle caratteristiche misurate. La mappa topografica può anche essere utilizzata per valutare la rugosità della superficie misurata.



Figura: Microprofilometro durante la misura in situ di un dipinto (sx) e di una statua (dx).

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- A. Dal Fovo, J. Striova, E. Pampaloni, A. Fedele, M.M. Morita, D. Amaya, F. Grazzi, M. Cimò, C. Cirrincione, R. Fontana, “Rubens' painting as inspiration of a later tapestry: non-invasive analyses provide insight into artworks' history”, *Microchemical Journal*, *Microchemical Journal*, 153, 104472 (2020)
- J. Striova, R. Fontana, M. Barucci, A. Felici, E. Marconi, E. Pampaloni, M. Raffaelli, C. Riminesi, “Optical devices provide unprecedented insights into the laser cleaning of calcium oxalate layers”, *Microchem. J.* (2016) 124 (331-337)
- R. Fontana, A. Dal Fovo, J. Striova, L. Pezzati, E. Pampaloni, M. Raffaelli, M. Barucci, “Application of non-invasive optical monitoring methodologies to follow and record painting cleaning processes”, *Appl. Phys. A* (2015) 121(3) 957-966
- Striova J., Salvadori B., Fontana R., Sansonetti A., Barucci M., Pampaloni E., Marconi E., Pezzati L., Colombini M.P., “Optical and spectroscopic tools evaluating Er:YAG laser removal of shellac varnish”, *Studies in Conservation* (2015) 60 S91-96
- R. Fontana, M. Barucci, E. Pampaloni, L. Pezzati, C. Daffara, A study of surface optical properties for characterizing the cleaning process of paintings, *Proc. of SPIE Vol. 8790* 87900O-6, (2013)
- R. Bellucci, P. Carcagnì, A. Della Patria, R. Fontana, C. Frosinini, M.C. Gambino, M. Greco, M. Mastroianni, M. Materazzi, E. Pampaloni, L. Pezzati, R. Piccolo and P. Poggi, Integration of image data from 2D and 3D optical techniques for painting conservation applications, *The Imaging Science Journal*, Vol. 55, 80-89, (2007)
- E. Pampaloni, R. Bellucci, P. Carcagnì, A. Casaccia, R. Fontana, M.C. Gambino, R. Piccolo, P. Pingi, L. Pezzati, “Three-dimensional survey of paint layer”, *Proc. SPIE Vol. 6618* (2007)
- R. Fontana, C. Daffara, M. C. Gambino, E. M. Pampaloni, L. Pezzati, “Optical microprofilometry for roughness measurement”, *Proc. SPIE Vol. 6618* (2007)

Referente: Raffaella Fontana (raffaella.fontana@ino.cnr.it)

LABORATORIO: CNR ISPC - XRAYLab

NOME STRUMENTO

Scanner MICRO-XRF sviluppato presso il laboratorio XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

La micro-XRF mapping è una tecnica analitica non-distruttiva basata sulla scansione della superficie del campione impiegando un fascio di raggi X fortemente focalizzato sulla scala micrometrica che fornisce le immagini delle distribuzioni elementali con elevata risoluzione laterale.

La tecnica micro-XRF è non distruttiva, può essere applicata in situ ed è indicata per tutte quelle applicazioni in cui l'analisi elementale di materiali (tipicamente inorganici) è rivolta a studi di provenienza (ricerca di inclusioni caratterizzanti), natura dei materiali e loro stato di conservazione (ricerca delle associazioni chimiche elementali), tecnica di produzione o processo artistico. Ad esempio, la tecnica può essere impiegata nella ricerca di inclusi dei metalli del platino (PGM) in oggetti archeologici in oro nativo o, vista l'elevata risoluzione spaziale, per gli studi della dinamica delle pennellate di un artista in una composizione pittorica.

La tecnica micro-XRF di ISPC si basa sull'irraggiamento della superficie del campione operando una scansione continua con velocità fino a 50mm/sec con un fascio primario di raggi X avente dimensioni dell'ordine di 10 micron su un'area di 50x50 cm². Viste le dimensioni dell'area di scansione, per la prima volta la tecnica micro-XRF può essere applicata in situ anche su contesti macroscopici. La fluorescenza a raggi X emessa dalle specie atomiche di cui è composto il campione viene opportunamente rivelata in funzione della posizione da un sistema multi-rivelatore (fino a 6 elementi) che consente di operare con grande efficienza e, conseguentemente, con tempi di permanenza per pixel dell'ordine del ms. Tale caratteristica riduce drasticamente i tempi di misura. Le indagini sono video guidate da un microscopio ottico ad alta risoluzione e le immagini delle distribuzioni elementali nei campioni in studio vengono fornite ed elaborate in tempo reale, già durante la misura.

Guida sintetica per la scelta della tecnica micro-XRF di ISPC

Materiali: tutti i materiali di natura inorganica

Casi ottimali di applicazione: opere pittoriche su qualsiasi supporto anche di grandi dimensioni, metalli (anche piccoli oggetti decorati o incisi), ceramica dipinta o invetriata, materiale mineralogico o petrografico, etc.

Posizionamento del campione: verticale e orizzontale

Tipologia di analisi: non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: 3 ore per coprire un'area di 10x10cm² con risoluzione pari a 10 micron.

Risoluzione massima: 3-5 micron

Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di Mo, 50Kv e 0.6mA (potenza 30W); anodo di Cr, 50 kV 0.6mA per misure specifiche a grande efficienza di elementi a basso numero atomico.

Dimensione del fascio: nel range di distanze tra 10-15 micron a 3 mm dalla superficie del campione.

Sistema di rivelazione: Multi-rivelatore fino a 6 elementi SDD da 50mm² operante in parallelo

Altre tecniche presenti nello strumento: MA-XRF, XRF confocale.

Specifiche analitiche: le immagini elementali sono fornite in tempo reale durante le misure con spettri

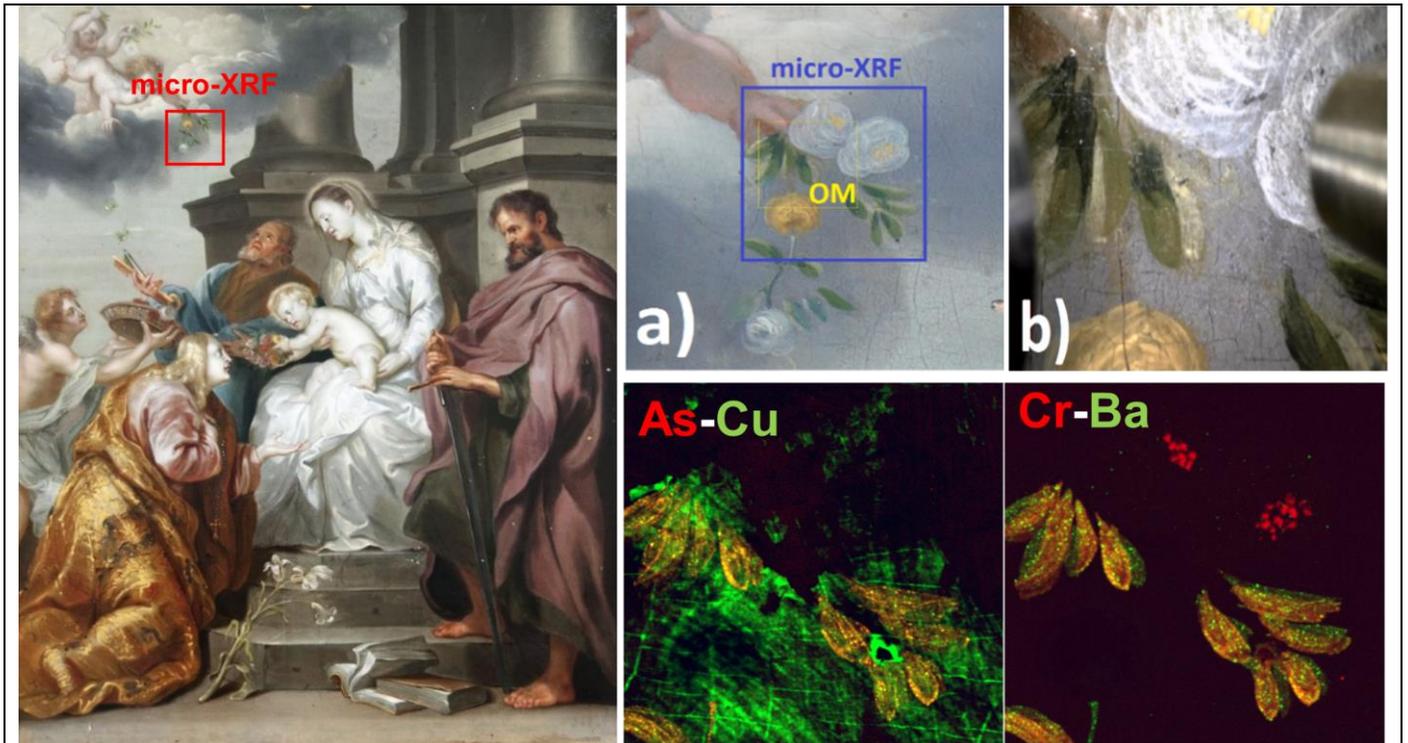
XRF per pixel già deconvoluti (assenza di artefatti); il software di analisi consente in tempo reale di operare l'imaging-processing, correlazioni elementali RGB, scatter plot di correlazione, analisi statistica PCA, ICA e NMF, analisi degli spettri su singole regioni di interesse, spettro dei massimi (per identificare elementi in traccia o inclusioni localizzate)

Sicurezza: stop automatico in caso superamento di una soglia di avvicinamento di sicurezza.

DETTAGLI TECNICI

Lo scanner mobile micro-XRF sviluppato presso il laboratorio XRAYLab di CNR-ISPC è un sistema meccatronico operante in tecnologia real-time. Il sistema consta di una testa di misura spettrometrica equipaggiata con tubo a raggi X microfocus con anodo di Mo da 30W accoppiato ad un'ottica policapillare focalizzante. Una seconda sorgente primaria di raggi X con anodo di Cr può essere alternata a quella di Rh per una migliore acquisizione delle immagini degli elementi chimici con righe spettroscopiche nella regione di bassa energia. Inoltre, l'uso combinato delle due sorgenti permette di separare le distribuzioni di uno stesso elemento chimico presente a diverse profondità stratigrafiche dell'opera. La fluorescenza X indotta dalla radiazione primaria è rivelata in modalità evento da un sistema multi-rivelatore che contiene fino a 6 elementi SDD da 50mm² e risoluzione energetica <130eV a 5.9 keV, che operano in parallelo. La testa spettrometrica è montata su un sistema a 3 assi (XYZ) con corsa 50x50x20cm³ che permette di operare la scansione in modalità continua ad alta velocità (fino a 50 mm/sec) e con un tempo di permanenza per pixel fino a 1msec.

Il sistema è dotato di una CPU centrale per il controllo dei parametri operativi di misura e dei sistemi di sicurezza. La CPU gestisce: la sequenza di scansione; regola automaticamente i parametri della sorgente X e dei rivelatori per evitare degrado del tempo morto e risoluzione energetica negli spettri XRF dei singoli pixel; gestisce un interferometro laser a 750 frames/sec per la correzione dinamica della distanza di misura, in modo da evitare urti accidentali dello scanner con l'opera in esame; conserva le coordinate di scansione in modo da riprendere le analisi dalla stessa posizione in caso di pause prolungate o di fermo del sistema (ad es. pause notturne). Inoltre, la CPU opera l'analisi dinamica degli spettri-pixel applicando un'accurata procedura di fit e fornendo le immagini elementali in real-time senza artefatti. Il sistema a scansione è anche fornito di un software per l'analisi real-time delle immagini attraverso il quale è possibile effettuare la correlazione delle immagini (RGB), applicare strumenti logici-matematici, applicare analisi statistiche (ad es. PCA, ICA e NNMF), generare scatter-plot ed esportare singoli spettri XRF selezionando una qualunque area (ROI) dell'immagine. Lo scanner è assemblabile in due diverse configurazioni della testa spettrometrica consentendo di analizzare ampie superfici che possono essere posizionate sia in posizione verticale che orizzontale.



Analisi micro-XRF video guidata condotta su una copia non attribuita (olio su tavola, 40x30cm) del dipinto “Madonna col Bambino e i santi Rosalia, Pietro e Paolo” di Anthony van Dyck. La presenza di pigmenti anacronistici ha permesso di metterne in dubbio l'autenticità

MAGGIORI INFORMAZIONI

- Romano, F. P., Caliri, C., Nicotra, P., Di Martino, S., Pappalardo, L., Rizzo, F., & Santos, H. C. (2017). Real-time elemental imaging of large dimension paintings with a novel mobile macro X-ray fluorescence (MA-XRF) scanning technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 32(4), 773-781.
- H. Santos, et al., Identification of forgeries in historical enamels by combining the non-destructive scanning XRF imaging and alpha-PIXE portable techniques, *Microchemical Journal*, 124 (2016) 241–246.

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORIO: CNR SCITEC

NOME STRUMENTO

HI 90 Bruker Mid-IR hyperspectral imager

INFORMAZIONI GENERALI

La spettroscopia FT-IR in riflessione è ampiamente utilizzata nel campo della scienza del patrimonio per la caratterizzazione e l'identificazione di materiali organici e inorganici. Essendo una tecnica spettroscopica molecolare vibrazionale, fornisce informazioni riguardanti i gruppi funzionali che costituiscono le molecole aiutando in definitiva l'identificazione molecolare di un numero illimitato di materiali in esame. L'intervallo del medio IR è particolarmente adatto per il riconoscimento di materiali inorganici (con alcune limitazioni per gli ossidi metallici) nonché di materiali organici sintetici e naturali. Questa tecnica può fornire informazioni riguardanti non solo i materiali e le tecniche pittoriche, ma anche eventuali contaminanti superficiali, alterazioni e prodotti/processi di degrado.

L'HI 90 di Bruker è un imager iperspettrale avanzato che opera nell'intervallo spettrale del medio infrarosso (mid-IR) (4000-800 cm^{-1}), ed è in grado di fornire immagini composizionali di grande valore per la conoscenza e la conservazione delle opere d'arte. L'imaging iperspettrale in questo intervallo spettrale è altamente diagnostico e consente di andare oltre l'identificazione dei pigmenti e la loro distribuzione, e di svelare la natura e la distribuzione dei materiali organici e dei prodotti di degradazione.

DETTAGLI TECNICI

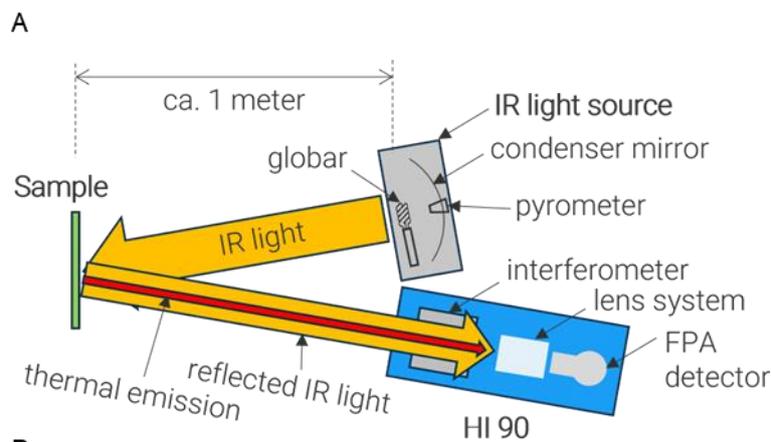
L'imager iperspettrale è costituito principalmente da un interferometro di Michelson e da un rivelatore Stirling Cooled Focal-Plane-Array (FPA) Strained Layer Superlattice (SLS). L'interferometro a specchio piano è attivamente allineato e il sistema è sigillato e raffreddato. La risoluzione spettrale massima è 1 cm^{-1} , le misurazioni vengono generalmente effettuate a 4 cm^{-1} tipicamente in modalità riflessione esterna IR nell'intervallo spettrale 4000-800 cm^{-1} . La dimensione totale del rivelatore FPA è 320 x 256 pixel, ogni pixel è $30 \times 30 \mu\text{m}^2$. Il campo visivo di un singolo pixel è di ca. 0,52 mrad, che corrisponde a una risoluzione laterale migliore di 1 mm (0,7-0,8 mm) a una distanza di lavoro di 1 m. Per la modalità di preview, che funziona come una telecamera termografica, viene utilizzata l'intera dimensione del rivelatore. Per le misurazioni normali, l'area attiva del rivelatore FPA è di 176x176 pixel e l'area di misurazione è di ca. $11 \times 11 \text{ cm}^2$ a 1 m di distanza di lavoro. La differenza di temperatura equivalente al rumore (NETD) delle misurazioni con 16 co-addizioni, media di 3x3 pixel, nell'intervallo spettrale da 1050 cm^{-1} a 1150 cm^{-1} è di circa 90 mK.

Gli spettri di riflettanza vengono calcolati come il rapporto tra la riflessione del campione e quella registrata da un target in polvere di alluminio grigio utilizzato come sfondo.

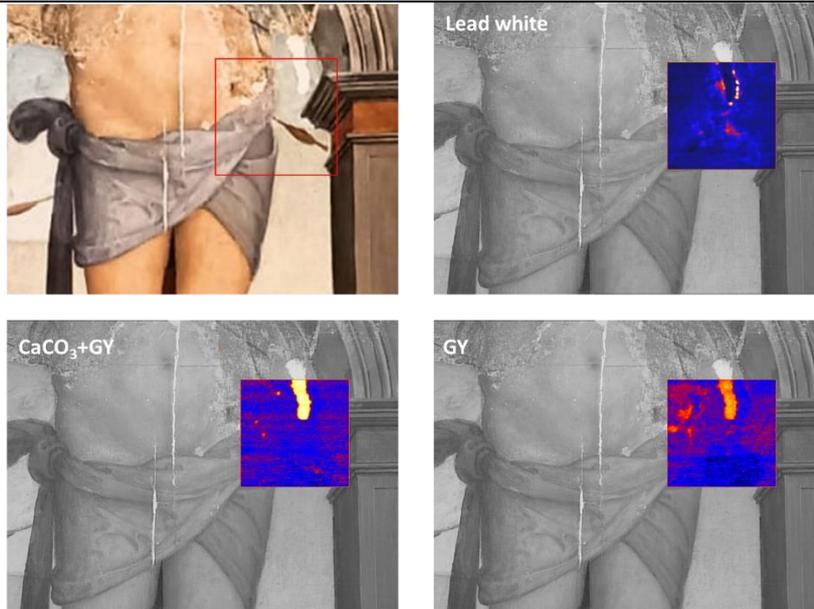
Le immagini iperspettrali vengono elaborate utilizzando un filtro lineare con un kernel Gauß di 3x3 pixel con larghezza di 3 pixel. Per misurare in modalità riflessione, il campione viene illuminato da una sorgente di radiazione infrarossa costituita da una sorgente luminosa global (SiC) e da uno specchio condensatore parabolico con un diametro di circa 30 cm. Il global è installato su un attuatore motorizzato che viene utilizzato per regolare la distanza di lavoro della sorgente da 1 m fino all'infinito in posizione sfocata. Durante il tempo dedicato all'analisi dei dati dopo ogni misurazione, l'attuatore viene spostato automaticamente per sfocare la sorgente, oppure la sorgente può essere temporaneamente spenta per ridurre l'esposizione alle radiazioni del campione. La temperatura, e quindi lo spettro di radiazione e l'intensità della sorgente,

possono essere regolati modificando la potenza elettrica in ingresso. L'intensità può anche essere attenuata da un'apertura regolabile manualmente. La temperatura della sorgente può essere misurata e monitorata da un pirometro installato al centro del condensatore. La temperatura massima della sorgente è 1000 °C.

Il tempo di acquisizione di un cubo di dati iperspettrale completo è di 8 minuti (con 70 μs di tempo di integrazione e 16 co-addizioni). In questo periodo, ca. 7 minuti sono necessari per acquisire l'intera dimensione dell'FPA scansionando 8 blocchi di 22 linee (22x176pixel) e l'ultimo minuto è necessario per il salvataggio dei dati e della FFT. Il controllo automatico della sorgente consente la sfocatura in quel momento. L'aumento di temperatura sulla superficie del dipinto con una temperatura della sorgente di 800 °C e 8 minuti di acquisizione è < 6 °C, misurato da un esposimetro (Elssec 775).



Disegno schematico della configurazione di misurazione. La sorgente luminosa esterna è integrata sulla parte superiore dell'interferometro e l'intero sistema è installato su binari, carrello e sistema di sollevamento per un facile spostamento e movimentazione orizzontale e verticale.



Esempi di mappe chimiche prodotte sfruttando le caratteristiche spettrali nel range del medio IR. *Il martirio di San Sebastiano* di Pietro Vannucci detto il Perugino, 1518.

APPLICATIONS

La tecnica è altamente efficace per l'identificazione e la caratterizzazione dei materiali inorganici e organici utilizzati nel campo del patrimonio culturale. Permette di raccogliere informazioni precise riguardanti contaminanti superficiali, materiali originali e non, alterazioni e prodotti di degrado nonché permette di monitorare le tecniche di pulitura e le attività di conservazione. I dati raccolti tramite tale tecnica possono essere utilizzati per aiutare ed assistere strategie di conservazione e restauro e pianificarle in modo adeguato e appropriato.

ULTERIORI INFORMAZIONI

- Rosi F, Cartechini L, Sali D, Miliani C., Recent trends in the application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in Heritage Science: from micro- to non-invasive FT-IR, *Physical Sciences Reviews* 4(11), <https://doi.org/10.1515/9783110457537-006>
- Rosi F, Miliani C, Braun R, Harig R, Sali D, Brunetti BG, Sgamellotti A. Noninvasive analysis of paintings by mid-infrared hyperspectral imaging. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013 May 10;52(20):5258-61, DOI:10.1002/anie.201209929

Referente: Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Strumento FD-OCT; strumento TD-OCT

INFORMAZIONI GENERALI:

La tomografia ottica coerente (OCT), tipicamente impiegata in campo biomedicale, è una tecnica interferometrica che fornisce sezioni stratigrafiche ad alta risoluzione di oggetti diffondenti o semi-trasparenti. Essa fa uso di una sorgente con emissione nel visibile o nel vicino infrarosso, la cui larghezza spettrale determina la risoluzione in profondità. Nel campo della diagnostica dei dipinti, l'OCT ha trovato valida applicazione nella misura in profondità di stratificazioni di materiali pittorici in modo completamente non-invasivo. Tale analisi si rivela particolarmente utile per il monitoraggio e la documentazione di variazioni di spessore micrometriche durante interventi di restauro come la pulitura, che prevede la rimozione selettiva di patine deteriorate o depositi (vernici, ossalati, ridipinture) presenti sulle superfici pittoriche. La visualizzazione di stratificazioni mediante OCT può tuttavia essere ostacolata in presenza di interfacce altamente diffondenti, che impediscono la propagazione in profondità della radiazione incidente. Allo scopo di superare tale limite, la tecnica OCT è stata accoppiata alla microscopia confocale a scansione, consentendo così di focalizzare il fascio incidente sull'interfaccia di interesse (anche all'interno del materiale) e massimizzare il segnale retro-diffuso.

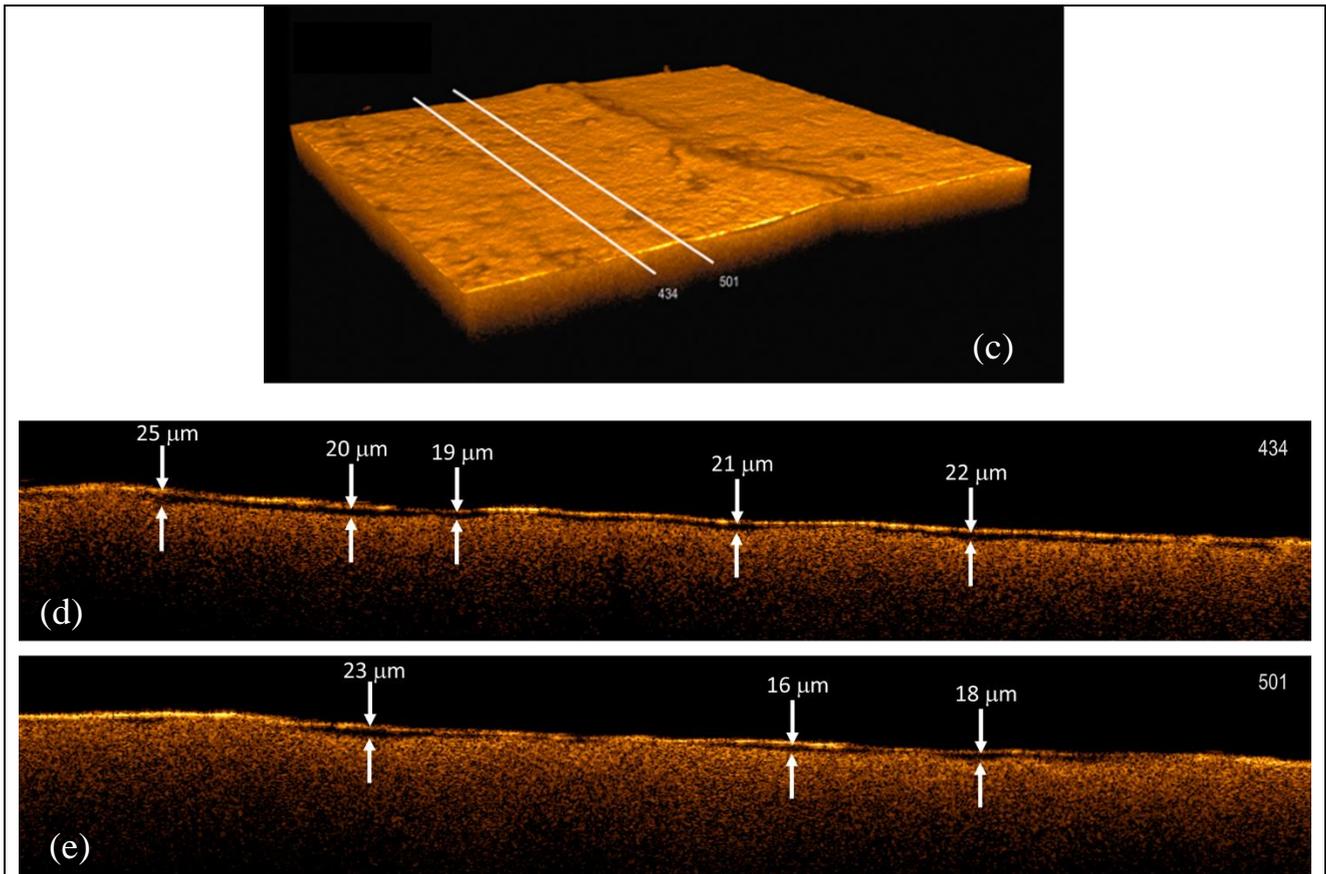
DETTAGLI TECNICI:

La capacità della radiazione di penetrare la materia dipende sia dalle proprietà di quest'ultima (composizione chimica, spessore, ...) sia dalla lunghezza d'onda della radiazione utilizzata. A tale proposito, CNR-INO mette a disposizione due dispositivi per OCT, operanti rispettivamente a 1300 nm (dominio della frequenza, FD-OCT) e 1550 nm (dominio del tempo in modalità confocale, confocal TD-OCT). L'output degli strumenti è un set di immagini stratigrafiche del campione, anche dette immagini tomografiche, che costituiscono il cosiddetto *tumocube*. Esso può essere analizzato secondo una qualsiasi sezione (xz , yz , xy). Lo strumento FD-OCT consente di acquisire volumi di dimensione massima $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ con una risoluzione laterale di 13 micron e assiale (in profondità) di 5.5 micron in aria. Lo strumento TD-OCT, invece, volumi di dimensione massima $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ con una risoluzione laterale di circa 2.5 micron e assiale di circa 10 micron in aria. I valori della risoluzione assiale sono dati per funzionamento in aria e sono, dunque, da dividere per l'indice di rifrazione della sostanza attraversata.

A seconda delle caratteristiche dell'opera da analizzare, viene utilizzato l'uno o l'altro dei due sistemi.



Figura: Testa ottica del dispositivo FD-OCT (a) e TD-OCT (b) durante misure in situ.



Esempio di una sezione xy (c) e yz (d, e) in corrispondenza delle linee bianche in (d).

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- P. Targowski, M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, C. Frosinini, J. Striova, R. Fontana, Using Optical Coherence Tomography to Reveal the Hidden History of The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder by Leonardo da Vinci and Studio, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, 57,7396-7400 (2018)
- J. Striova, A. Dal Fovo, V. Fontani, M. Barucci, E. Pampaloni, M. Raffaelli, R. Fontana, “Modern acrylic paints probed by optical coherence tomography and infrared reflectography”, *Microchemical Journal* 138 (2018) 65–71
- J. Striova, R. Fontana, M. Barucci, A. Felici, E. Marconi, E. Pampaloni, M. Raffaelli, C. Riminesi, Optical devices provide unprecedented insights into the laser cleaning of calcium oxalate layers, *Microchem. J.* (2016) 124 (331-337)
- Striova J., Salvadori B., Fontana R., Sansonetti A., Barucci M., Pampaloni E., Marconi E., Pezzati L., Colombini M.P., Optical and spectroscopic tools evaluating Er:YAG laser removal of shellac varnish, *Stud. Conserv.* (2015) 60 S91-96
- C. Daffara, R. Fontana, L. Pezzati, “NIR confocal microscopy for painting diagnostics”, *Proc. SPIE* Vol. 7391, Editor(s) Luca Pezzati, Renzo Salimbeni (2009)
- T. Arecchi, M. Bellini, C. Corsi, R. Fontana, M. Materazzi, L. Pezzati, A. Tortora, “A new tool for painting diagnostics: Optical coherence tomography”, *Optics and Spectroscopy*, Vol. 101 n. 1, 23-26 (2006)

Referente: Raffaella Fontana (raffaella.fontana@ino.cnr.it)

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Scanner multispettrale VIS-NIR

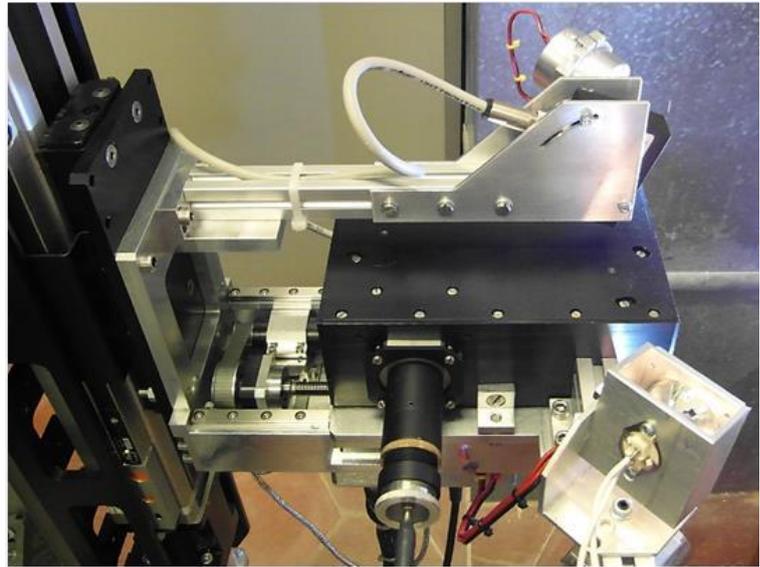
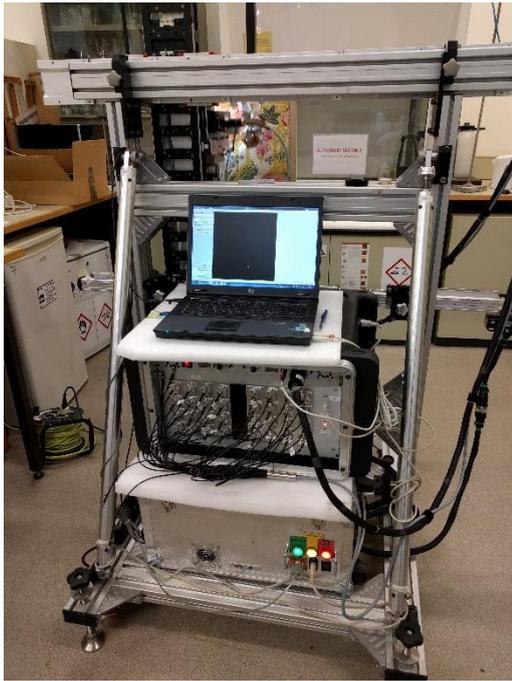
INFORMAZIONI GENERALI:

La riflettografia multispettrale, fornendo una caratterizzazione spettrofotometrica punto per punto di superfici dipinte, rappresenta uno strumento diagnostico estremamente utile per lo studio delle opere d'arte. Realizzata originariamente in un'unica banda spettrale nella regione del vicino infrarosso (NIR), negli ultimi decenni è stata implementata con l'acquisizione in più bande spettrali strette, che consentono di rivelare dettagli altrimenti non visibili e di ricavare così preziose informazioni sulle fasi di realizzazione dell'opera. L'analisi multispettrale nel visibile (VIS), basata sul calcolo colorimetrico, permette di monitorare nel tempo le variazioni di colore del film pittorico, fornendo un valido supporto in caso di interventi di pulitura e in generale di conservazione. L'analisi nel vicino infrarosso, grazie alla trasparenza della maggior parte dei pigmenti in questa regione spettrale, rende possibile la visualizzazione di dettagli al di sotto della superficie dipinta, come disegni preparatori, pentimenti e ritocchi.

Lo Scanner Multispettrale è rivoluzionario nel campo della riflettografia VIS-NIR, in quanto fornisce un set di immagini ad alta risoluzione, acquisite simultaneamente a diverse lunghezze d'onda in una vasta regione spettrale, che va da 395 a 2500 nm. Le immagini prodotte sono auto-registrate e prive di aberrazioni, facilitandone l'elaborazione in modo congiunto (differenza, falso colore, analisi multivariata, ...).

DETTAGLI TECNICI:

Lo scanner multispettrale sviluppato al CNR-INO è caratterizzato da 32 canali spettrali, 16 nel visibile (395 - 765 nm, risoluzione spettrale 20-30 nm) e 16 nel vicino infrarosso (750 - 2500 nm, risoluzione spettrale 50-100 nm). Il dispositivo è progettato per garantire condizioni di misura sicure, evitando qualsiasi danno all'oggetto analizzato. Il sistema di scansione XY muove congiuntamente il sistema di illuminazione e l'ottica di raccolta, evitando così l'esposizione prolungata del dipinto alla luce, ed il dispositivo di autofocus, un distanziometro laser posizionato sull'asse Z, mantiene la distanza di lavoro a circa 12 cm durante l'intera scansione. Il movimento, *di tipo bustrofedico*, consente di misurare aree fino a 1 m² in circa 3 ore, con un passo di campionamento spaziale di 250 µm (4 punti/mm) e fattore di ingrandimento unitario. Ogni acquisizione viene calibrata misurando la radiazione riflessa da riferimenti standard certificati. Il set di immagini risultante è completamente esente da aberrazioni cromatiche e ottiche, grazie ad un sistema catottrico che focalizza la radiazione retro-diffusa su un fascio di 36 fibre ottiche. Il sistema è gestito via computer da un software personalizzato che controlla simultaneamente il movimento degli assi, l'autofocus e l'acquisizione delle immagini. Lo strumento, che occupa un volume di circa 1,5 m³, è smontabile e trasportabile per misure in situ.



Scanner multispettrale VIS-NIR: strumento durante la campagna MOLAB presso il V&A Museum – Londra e dettaglio della testa ottica.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- A. Dal Fovo, J. Striova, E. Pampaloni, A. Fedele, M.M. Morita, D. Amaya, F. Grazzi, M. Cimò, C. Cirrincione, R. Fontana, “Rubens' painting as inspiration of a later tapestry: non-invasive analyses provide insight into artworks' history”, *Microchemical Journal*, *Microchemical Journal*, 153, 104472 (2020)
- A. Dal Fovo, A. Mazzinghi, S. Omarini, E. Pampaloni, J. Striova, R. Fontana, “Non-invasive mapping methods for pigments analysis of Roman mural paintings”, *Journal of Cultural Heritage* 43 (2020) 311–318
- J. Striova, C. Ruberto, M. Barucci, J. Blažek, D. Kunzelman, A. Dal Fovo, E. Pampaloni, R. Fontana, “Spectral Imaging and Archival Data in Analysing Madonna of the Rabbit Paintings by Manet and Titian”, *Angew Chem Int Ed Engl.* 2018 Jun 18;57(25):7408-7412
- J. Blažek, J. Striova, R. Fontana, B. Zitova, “Improvement of the visibility of concealed features in artwork NIR reflectograms by information separation”, *Digital Signal Processing* 60 (2017) 140–151
- R. Fontana, A. Dal Fovo, J. Striova, L. Pezzati, E. Pampaloni, M. Raffaelli, M. Barucci, Application of non invasive optical monitoring methodologies to follow and record painting cleaning processes, *Appl. Phys. A* (2015) 121(3) 957-966
- Fontana R., Barucci M., Pampaloni E., Striova J., Pezzati L., From Leonardo to Raffaello: Insights by VIS-IR reflectography, proceedings of 5th ALMA interdisciplinary conference: Interpretation of fine art's analyses in diverse contexts. 2014, pp. 15-26
- C. Daffara, R. Fontana: Multispectral Infrared Reflectography to Differentiate Features in Paintings, *Microscopy and Microanalysis*, 17, 691–695, (2011)
- C. Daffara, E. Pampaloni, L. Pezzati, M. Barucci, R. Fontana: Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics, *Accounts of Chemical Research* 43 (6), 847-856 (2010)

Referente: Raffaella Fontana (raffaella.fontana@ino.cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Spettrometro per Imaging nel Dominio del Tempo alle frequenze dei Terahertz (THz-TDI):
TeraOSE Menlo Systems

INFORMAZIONI GENERALI:

L'imaging spettroscopico nel dominio del tempo alle frequenze dei terahertz (THz-TDI) è una tecnica all'avanguardia fra quelle attualmente usate per lo studio dei Beni Culturali e fornisce informazioni sulla stratigrafia e sulla composizione di un campione in modo del tutto non invasivo. La radiazione alle frequenze dei THz è, infatti, non ionizzante e capace di penetrare, per profondità dell'ordine di qualche millimetro, nella maggior parte dei materiali non metallici e può essere usata per effettuare misure sia in trasmissione sia in riflessione.

Le misure THz-TDI in riflessione, effettuate lungo più linee di misura, consentono di acquisire un cubo di dati da cui, mediante opportune tecniche di elaborazione dati, si ottengono informazioni sulle caratteristiche superficiali e sub-superficiali dell'oggetto in esame lungo ciascuna delle tre sezioni spaziali, ovvero nei piani (x-y), (x-z) e (y-z).

Le misure THz-TDI in trasmissione consentono sia di generare immagini bi-dimensionali del campione sia di effettuare analisi spettroscopiche finalizzate all'identificazione dei materiali costituenti e possono essere effettuate quando lo spessore e le caratteristiche del campione sono tali da consentire la trasmissione del segnale.

Alcuni esempi di applicazione sono l'identificazione di ridipinture, ripensamenti e disegni preparatori, lo studio della stratigrafia di manufatti decorati (ceramiche invetriate, malte, lacche, dipinti), l'individuazione di distacchi, fessure e difetti otticamente non visibili, la caratterizzazione di materiali plastici e compositi.

DETTAGLI TECNICI:

Lo spettrometro trasportabile TeraOSE della Menlo Systems disponibile presso il MOLAB consente di effettuare misure sia in riflessione che in trasmissione. Tale sistema sfrutta il principio dell'*asynchronous optical sampling* (ASOPS) grazie all'uso di due sorgenti laser ultraveloci a femtosecondi collegati all'antenna trasmittente e a quella ricevente tramite fibre ottiche.

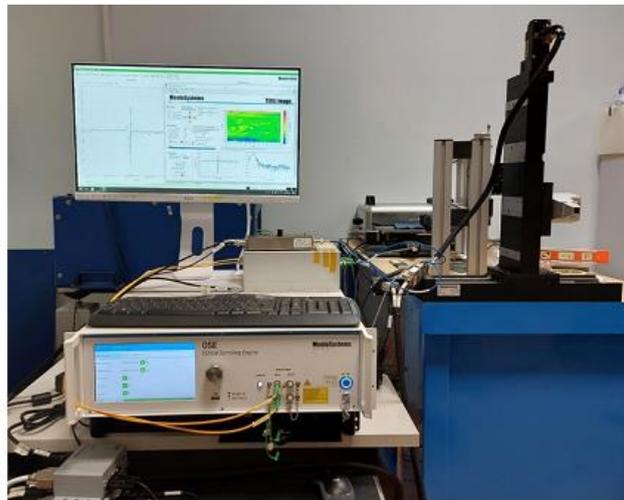
Il sistema di generazione e acquisizione del segnale THz (Optical Sampling Engine, OSE) è compatto ed integrato in un'unica unità. Ad esso è associato un sistema di scansione bidimensionale, la cui massima area di scansione è $30 \times 30 \text{ cm}^2$.

Lo spettrometro ha un peso complessivo di 36.5 kg (OSE = 24 kg, PC = 11 kg, splitter box = 1.5 kg), mentre il sistema di scansione pesa 15 kg. Le dimensioni dell'OSE sono di $56 \times 45 \times 25 \text{ cm}^3$.

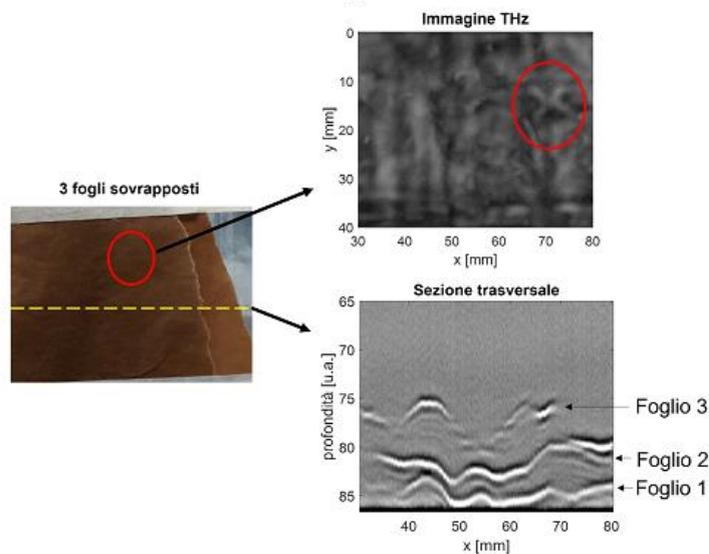
La finestra spettrale nominale del sistema è di 4 THz e l'intervallo di scansione nel dominio del tempo è di 10 ns. Il rapporto fra segnale e rumore è $> 70 \text{ dB}$ (con differenza in frequenza = -10 Hz, sampling rate = 10MHz, gain = 10^6 , larghezza di banda = 1.8 MHz, 1000 medie).

La risoluzione laterale della misura è determinata dalla dimensione dell'impulso THz nel punto di focalizzazione, che è di circa 1.5 mm, e dal passo del sistema di scansione, che non può essere inferiore a 0.1 mm. La risoluzione in profondità dipende dalla larghezza della banda utile del sistema ed è uguale a circa 0.5 ps, corrispondenti a $60 \mu\text{m}$ (in aria).

La massima profondità di indagine è di 7.5 mm (in aria).



(a)



(b)

Figura: (a) Spettrometro THz-TD TeraOSE, (b) campione preparato in laboratorio composto da 3 strati di carta forno carbonizzata sovrapposti su cui sono state incise delle lettere a matita (figura a sinistra) e risultati dell'indagine ai THz (figure a destra), ovvero immagine ai falsi colori nel piano parallelo all'area di misura (figura in alto) e immagine nella sezione trasversale (figura in basso). L'analisi THz-TDI ha permesso di identificare i vari strati di carta e di visualizzare una delle lettere presenti sotto il primo strato.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Catapano, I., Picollo, M. and Fukunaga, K. (2017) ‘Terahertz Waves and Cultural Heritage: State-of-the-Art and Perspectives’, in N. Masini and F. Soldovieri (eds) Sensing the Past. Cham: Springer International Publishing (Geotechnologies and the Environment), pp. 313–323. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-50518-3_14.
- Fukunaga, K. (2016) THz Technology Applied to Cultural Heritage in Practice. Tokyo: Springer Japan (Cultural Heritage Science). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55885-9>.
- Jackson, J.B. et al. (2011) ‘A Survey of Terahertz Applications in Cultural Heritage Conservation Science’, IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 1(1), pp. 220–231. Available at: <https://doi.org/10.1109/TTHZ.2011.2159538>.

Referente: Ilaria Catapano (ilaria.catapano@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME DELLO STRUMENTO

Fotocamera digitale Canon EOS 7D (18 Mpixel, sensore CMOS)

Fotocamera Canon EOS 450D (12 Megapixel, sensore CMOS) modificata attraverso la rimozione del filtro interno

Flash Quantum mod. Qflash T5dR (150W/s) per l'illuminazione su cui vengono montati i vari filtri
Filtri impiegati su flashes e obiettivo: Schneider Optic B+W 403 UV Black, Schneider Optics B+W Infrared IR 093, Schneider Optics B+W Infrared B+W 486 UV/IR blocking

INFORMAZIONI GENERALI:

Le indagini con imaging multibanda comprendono diverse tecniche fotografiche che sfruttano radiazioni a varie lunghezze d'onda, ognuna delle quali permette di avere una serie di informazioni sulla presenza di determinati materiali sulla superficie ottenendo una preliminare caratterizzazione e mappatura dei materiali presenti. Rappresentano lo step iniziale in una campagna diagnostica in quanto permettono di ottenere in modo non-invasivo e rapido, una documentazione dello stato di conservazione di un'opera indirizzando le indagini puntuali o i micro-campionamenti.

DETTAGLI TECNICI:

Le tecniche che si possono effettuare sono:

- visibile in luce diffusa (LV) finalizzata alla documentazione dell'opera e dei suoi dettagli
- fluorescenza ultravioletta (UVL) si utilizza principalmente per indagare la presenza di vernici e protettivi, ma anche residui delle missioni per l'oro e interventi di restauro. Inoltre, alcuni pigmenti possiedono una fluorescenza caratteristica che li distingue dagli altri e che ne permette l'identificazione.
- ultravioletto riflesso (UVR) impiegato per evidenziare eventuali interventi di restauro oltre che per la distribuzione spaziale dei pigmenti
- vicino infrarosso (IR) permette di evidenziare la presenza di un disegno preparatorio, di pentimenti, di ritocchi, di firme o altri segni particolari sotto la pellicola pittorica.

Dalle combinazioni delle riprese nel visibile con l'UV riflesso e con il vicino IR si ottengono rispettivamente le immagini in ultravioletto falso colore (UVfc) e infrarosso falso colore (IRfc).

Alle tecniche comunemente applicate su opere policrome si affianca la tecnica fotografica che sfrutta l'acquisizione della luminescenza indotta da radiazione visibile (VIL) che permette la caratterizzazione spaziale di alcuni pigmenti come il Blu Egizio, l'Han Blue e l'Han Purple



Figura: Camera e Flashes impiegati e dettaglio durante acquisizioni fotografiche in situ.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Dyer, J., Verri, G., Cupitt, J., (2013), Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual, European CHARISMA Project, published online.

Verri, G., (2009). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 7391. 10.1117/12.827331.

Fischer, C., Kakoulli, J., (2006), Multispectral and Hyperspectral Imaging Technologies in Conservation: Current Research and Potential Applications, Reviews in Conservation 7, 3–16.

Referente: Donata Magrini (donata.magrini@cnr.it)

LABORATORIO: SMAArt-UNIPG

NOME STRUMENTO

Sistema portatile per imaging iper-spettroale nel visibile (VIS) (Surface Optics SOC710-VP Hyperspectral Imager)

INFORMAZIONI GENERALI:

L'imaging iper-spettroale si basa sulla spettroscopia in riflessione che consente di registrare sia la luce riflessa che quella emessa da una superficie opportunamente illuminata, permettendo la raccolta di spettri di in ogni punto del campo visivo. Il cubo, che costituisce l'immagine iper-spettroale, così ottenuto contiene sia gli spettri (di riflettanza o di fluorescenza) che la distribuzione spaziale di materiali diversi sulla superficie analizzata.

Il sistema di scansione integrato caratterizza questo strumento che può registrare l'immagine e gli spettri direttamente da un treppiedi fotografico posto di fronte all'oggetto analizzato, senza parti esterne in movimento.

L'informazione spettroale ottenuta permette l'identificazione di coloranti e pigmenti per confronto con una banca dati di spettri di riflettanza e fluorescenza raccolti sui materiali utilizzati nei diversi periodi storici per produrre oggetti policromi. Inoltre, le immagini iper-spettroali permettono di evidenziare disomogeneità superficiali nella composizione, fornendo una mappatura di eventuali zone di degrado e/o interventi di restauro effettuati in passato e non documentati.

L'imaging iper-spettroale nella regione del visibile è utilizzabile al meglio su opere d'arte quasi piane come dipinti, manoscritti, disegni, ecc, è completamente non invasivo e facilmente utilizzabile *in situ* direttamente sull'opera d'arte tal quale.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema di imaging iper-spettroale SOC710 è uno strumento di alta precisione che utilizza un CCD a base di silicio a basso rumore e ad alta velocità di acquisizione come spettrometro di elevata qualità nell'intervallo 400-1000 nm; è caratterizzato da un sistema di scansione integrato, e da un software di raccolta ed analisi dell'immagine. Il SOC710 può registrare immagini iper-spettroali ad una velocità di 4 megabyte di dati al secondo (128 elementi di banda al secondo con risoluzione a 12 bit, 520 pixel per riga, fino a 33 righe al secondo). Al fine di ottenere spettri di riflettanza ben definiti su tutta la gamma spettroale, vengono normalmente utilizzate lampade alogene fotografiche come sorgenti luminose, nonostante lo strumento possa essere utilizzato anche in condizioni di luce ambiente aggiustando opportunamente tempi di esposizione e di integrazione del segnale. Per l'ottenimento delle immagini iper-spettroali in fluorescenza, la superficie esaminata viene illuminata con LEDs monocromatici emittenti a 405 nm ed è richiesta una scarsa o assente illuminazione ambientale.

Specifiche dello strumento

- Intervallo spettroale: 0.4 – 1.0 microns
- Numero di bande: 128
- Range dinamico: 12-bit
- Velocità di acquisizione: fino a 33 linee/secondo
- Pixels per linea: 520
- Linee per cubo (tipico): 696
- Tempo di esposizione: 10 -> 10³ milliseconds



RIFERIMENTI:

1. Delaney, J.K., Zeibel, J.G., Thoury, M., Littleton, R., Palmer, M., Morales, K.M., René de la Rie, E., Hoenigswald, A., "Visible and infrared imaging spectroscopy of Picasso's Harlequin musician: mapping and identification of artist materials in situ", *Applied Spectroscopy* **64**, 584-94, 2010.
2. Vitorino, T., Casini, A., Cucci, C., Melo, M.J., Picollo, M., Stefani, L., "Hyper-Spectral Acquisition on Historically Accurate Reconstructions of Red Organic Lakes", Chapter "Image and Signal Processing", Volume 8509 of the series *Lecture Notes in Computer Science* pp 257-264, 2014, Springer Ed.
3. Grazia C., Sapienza C., Miliani C., Romani A., "Vis-NIR Reflection and Fluorescence Hyperspectral Imaging for the determination of CdS-based pigment stoichiometry" in *UV-VIS luminescence imaging techniques, Conservation 360°*, Vol. 1, edited by Marcello Picollo, Maartje Stols-Witlox and Laura Fuster-López, Editorial Universitat Politècnica de València (2019)

Referente: Aldo Romani (aldo.romani@unipg.it)

LABORATORIO: CNR-SCITEC

NOME STRUMENTO

Camera iperspettrale nel range dello Short-Wave Infrared (SWIR): PHOTON ETCS-EOST™ 2.5

INFORMAZIONI GENERALI:

La camera lavora nel range spettrale short-wave (SWIR, 900-2500 nm), rivelando le bande vibrazionali (armoniche e di combinazione) e elettroniche permettendo l'identificazione sia dei materiali organici (leganti, vernici, protettivi, materiali plastici, materiali di restauro,) e composti inorganici (pigmenti, preparazioni, fillers). L'opzione di imaging aggiunge all'identificazione del materiale la sua localizzazione spaziale rivelando immagini composizionali, dettagli invisibili ad occhio nudo grazie alla penetrazione della radiazione IR in questa specifica finestra spettrale.

DETTAGLI TECNICI:

La camera lavora nella finestra spettrale 900-2500 nm con una risoluzione spettrale migliore di 5 μm . È dotata di una camera Photon Etc (ZephIR™ 2.5) con un detector FPA HgCdTe con 320 x 256 pixel. L'acquisizione spaziale e spettrale è in modalità full-field ottenuta tramite l'utilizzo di filtri spettrali basati su reticoli di Bragg (VBG).

La lente HypIRia 25 ha una lunghezza focale di 25.3 mm, F/#2.6, la distanza minima di lavoro è di 30 cm con la quale si ha un campo di vista di 15 cm^2 . La camera pesa 15 kg e il suo ingombro è di circa 30x 61x27 mm^3 . Vengono utilizzate due lampade alogene come sorgente esterna. Il sistema può essere montato su cavalletto oppure su un tavolo dedicato sul quale sono fissate anche le sorgenti esterne solidali alla camera.

Figura: a) Set up in situ della camera SWIR



MAGGIORI INFORMAZIONI:

- <https://www.photonetc.com/products/zephir-2-5>

Referente: Francesca Rosi (francesca.rosi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

XRF a Riflessione Totale/ Incidenza Radente sviluppato presso il laboratorio XRAYLab di CNR-ISPC

INFORMAZIONI GENERALI

La XRF a riflessione totale o incidenza radente (TXRF/GI-XRF) è una tecnica analitica non-distruttiva che permette di isolare la superficie e gli strati immediatamente sottostanti del campione in oggetto. La versatilità della configurazione sperimentale permette di modificare la geometria di indagine in modo da adattarsi alle caratteristiche del campione e/o del quesito diagnostico. La configurazione in T-XRF sfrutta la riflessione totale per ottenere informazioni sulla composizione chimica della superficie dei campioni, ed è adatta solo a campioni piani e con superficie liscia. Operando una scansione angolare del campione in esame si sondano profondità diverse (configurazione GI-XRF), e si possono distinguere le composizioni chimiche di strati superficiali o sepolti, anche per campioni con superfici non riflettenti e con irregolarità.

La tecnica TXRF/GI-XRF è non distruttiva, può essere applicata in situ ed è indicata per tutte quelle applicazioni in cui l'analisi elementare di materiali (tipicamente inorganici) è rivolta a studi di provenienza, natura dei materiali e loro stato di conservazione (ricerca delle associazioni chimiche elementari). La tecnica è anche particolarmente adatta allo studio di materiali stratificati e alla ricerca di inclusioni/contaminanti in traccia.

La configurazione in riflessione totale (TXRF) sfrutta il confinamento del campo elettrico della radiazione incidente che non penetrando nel campione eccita solo gli atomi lungo la superficie del campione. In questo modo viene quindi isolato il contributo della superficie. Smalti ed invetriature superficiali possono quindi venire studiati separatamente dal nucleo degli oggetti. Per ottenere invece informazioni stratigrafiche si sfrutta la relazione univoca tra la profondità di penetrazione della radiazione incidente e l'angolo di incidenza. All'aumentare dell'angolo di incidenza aumenta la profondità sondata, raccogliendo quindi il segnale di fluorescenza in scansione angolare (GIXRF) si riesce a risolvere la composizione chimica dei diversi strati. I tempi di acquisizione dipendono fortemente dalle caratteristiche dei campioni da studiare e dal quesito diagnostico. Per ricerca di contaminanti in traccia (nella scala dei ppb) potrebbe essere necessario accumulare anche per più di 1h per punto. Per determinare il profilo stratigrafico (con spessori nella scala dei micron) potrebbe essere sufficiente operare una scansione angolare di pochi minuti per punto di indagine.

Guida sintetica per la scelta della tecnica TXRF/GI-XRF di ISPC

Materiali: materiali di natura inorganica con superficie (quasi) liscia e/o riflettente.

Casi ottimali di applicazione: opere pittoriche di piccole dimensioni, metalli, ceramica dipinta o invetriata, smalti, vetri e ossidiane

Posizionamento del campione: verticale

Tipologia di analisi: non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: variabile in base al quesito. Studio stratigrafico, circa 10 minuti a punto di indagine; ricerca di elementi in ultra-traccia circa 50 minuti a punto di indagine.

Risoluzione massima: dell'ordine di qualche nanometro

Limiti di rivelazione: 0.1 parti per milione

Caratteristiche e parametri della sorgente X: a) Sorgente monocromatica con anodo di Ag ad elevata brillantezza, 50kV e 0.88mA (potenza 44W); b) Sorgente monocromatica con anodo di Cu ad elevata brillantezza, 50kV 0.88mA.

Dimensione del fascio: 660 micron con sorgente di Ag, 180 micron con sorgente di Cu

Sistema di rivelazione: SDD detector con risoluzione 120 eV@5.9keV

Altre tecniche presenti nello strumento: XRD in trasmissione, GE-XRF, XRF.

DETTAGLI TECNICI

Lo spettrometro TXRF/GI-XRF di XRAYLab di CNR-ISPC è dotato di due diverse sorgenti X di eccitazione, monocromatizzate tramite ottiche di Montel, una con anodo di rame e l'altra con anodo di argento. Sfruttando la doppia diffrazione la radiazione K-alfa dell'anodo è selezionata in entrambe le sorgenti, ottenendo in uscita un fascio altamente monocromatico, leggermente convergente (con diametro di 180 micron al fuoco) nel caso della sorgente al rame e parallelo (con lato di 660 micron) per quella all'argento. Le due sorgenti a disposizione hanno anche flussi molto diversi, con il tubo di rame circa 100 volte più efficiente rispetto all'argento. Per gli elementi leggeri (dal silicio al cobalto tramite le linee K) risulta quindi conveniente utilizzare la sorgente al rame, mentre la sorgente con anodo di argento è utilizzata per studiare elementi più pesanti. Il segnale di fluorescenza viene raccolto da un SDD con area attiva di 25 mm² (collimata a 17 mm²), spessore di 450 micron e protetto da una finestra di berillio di spessore 8micron. La risoluzione in energia è di 120eV alla linea K-alpha del manganese (5.9keV) mentre la capacità di conteggio è superiore ad 1Mcps. L'allineamento e la scansione del campione in esame avvengono tramite l'utilizzo di assi lineari e di rotazione motorizzati. In particolare, sono in dotazione due assi di rotazione ad alta precisione (passo dell'ordine del millesimo di grado) motorizzati e controllati tramite CPU, che permettono di modificare l'orientamento sia della superficie del campione e dell'asse del detector rispetto alla direzione del fascio, indipendentemente l'uno dall'altro. Gli assi di movimentazione lineare vengono utilizzati per il preciso allineamento della posizione del campione rispetto al fascio. Per espletare al meglio questa operazione il sistema è anche dotato di una camera a raggi X che permette di visualizzare il fascio e verificare il corretto allineamento.

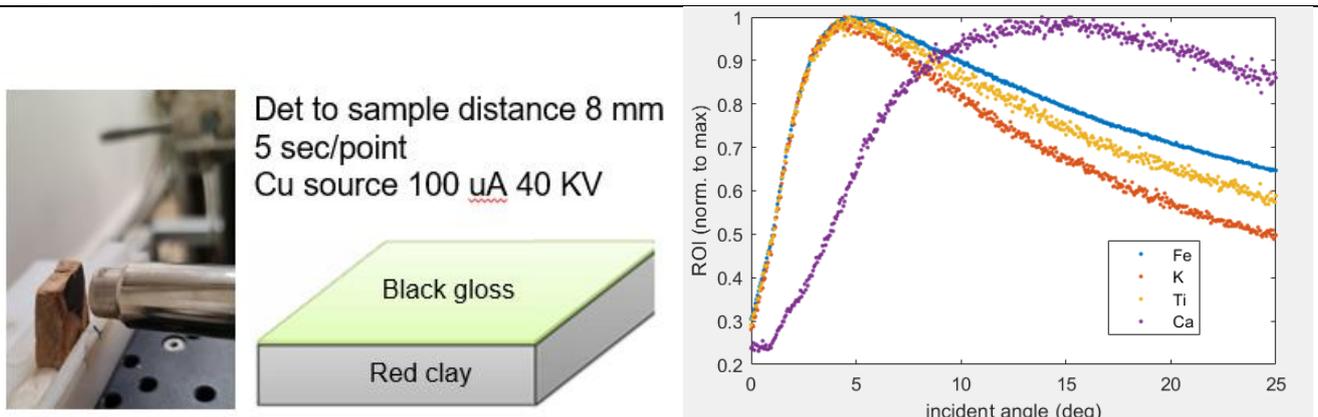


Fig. 1 GI-XRF: ceramica attica. Operando la scansione angolare del frammento mostrato in figura si separano le composizioni stratigrafiche elementari dello strato di vernice nera attica, ricco in ferro, titanio e potassio, dal corpo ceramico, ricca in calcio.

Referente: Francesco Paolo Romano (francescopaolo.romano@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME DELLO STRUMENTO

Fotocamera digitale Canon EOS 7D (18 Mpixel, sensore CMOS)

Fotocamera Canon EOS 450D (12 Megapixel, sensore CMOS) modificata attraverso la rimozione del filtro interno

Flash Quantum mod. Qflash T5dR (150W/s) per l'illuminazione su cui vengono montati i vari filtri
Filtri impiegati su flashes e obiettivo: Schneider Optic B+W 403 UV Black, Schneider Optics B+W Infrared IR 093, Schneider Optics B+W Infrared B+W 486 UV/IR blocking

INFORMAZIONI GENERALI:

Le indagini con imaging multibanda comprendono diverse tecniche fotografiche che sfruttano radiazioni a varie lunghezze d'onda, ognuna delle quali permette di avere una serie di informazioni sulla presenza di determinati materiali sulla superficie ottenendo una preliminare caratterizzazione e mappatura dei materiali presenti. Rappresentano lo step iniziale in una campagna diagnostica in quanto permettono di ottenere in modo non-invasivo e rapido, una documentazione dello stato di conservazione di un'opera indirizzando le indagini puntuali o i micro-campionamenti.

DETTAGLI TECNICI:

Le tecniche che si possono effettuare sono:

- visibile in luce diffusa (LV) finalizzata alla documentazione dell'opera e dei suoi dettagli
- fluorescenza ultravioletta (UVL) si utilizza principalmente per indagare la presenza di vernici e protettivi, ma anche residui delle missioni per l'oro e interventi di restauro. Inoltre, alcuni pigmenti possiedono una fluorescenza caratteristica che li distingue dagli altri e che ne permette l'identificazione.
- ultravioletto riflesso (UVR) impiegato per evidenziare eventuali interventi di restauro oltre che per la distribuzione spaziale dei pigmenti
- vicino infrarosso (IR) permette di evidenziare la presenza di un disegno preparatorio, di pentimenti, di ritocchi, di firme o altri segni particolari sotto la pellicola pittorica.

Dalle combinazioni delle riprese nel visibile con l'UV riflesso e con il vicino IR si ottengono rispettivamente le immagini in ultravioletto falso colore (UVfc) e infrarosso falso colore (IRfc).

Alle tecniche comunemente applicate su opere policrome si affianca la tecnica fotografica che sfrutta l'acquisizione della luminescenza indotta da radiazione visibile (VIL) che permette la caratterizzazione spaziale di alcuni pigmenti come il Blu Egizio, l'Han Blue e l'Han Purple



Figura: Camera e Flashes impiegati e dettaglio durante acquisizioni fotografiche in situ.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Dyer, J., Verri, G., Cupitt, J., (2013), Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual, European CHARISMA Project, published online.

Verri, G., (2009). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 7391. 10.1117/12.827331.

Fischer, C., Kakoulli, J., (2006), Multispectral and Hyperspectral Imaging Technologies in Conservation: Current Research and Potential Applications, Reviews in Conservation 7, 3–16.

Referente: Donata Magrini (donata.magrini@cnr.it)

LABORATORIO: CNR ISPC - XRAYLab

NOME STRUMENTO

Scanner mobile XRF confocale sviluppato da XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

La tecnica XRF confocale (CXRF) è un potente mezzo di indagine stratigrafica (1D) e per l'imaging elementale in tre dimensioni (3D) di campioni aventi una struttura complessa lungo il loro spessore. L'analisi CXRF è non-distruttiva, non è necessaria alcuna preparazione dei campioni e può essere applicata in situ. Un tipico esempio di applicazione della tecnica CXRF riguarda lo studio della stratigrafia pittorica di un dipinto.

La tecnica CXRF è basata sulla rivelazione della fluorescenza X indotta sul campione da un fascio di raggi X emesso da un tubo che viene focalizzato ad una dimensione su scala micrometrica tramite l'utilizzo di ottiche policapillari. Il sistema di rivelazione è anch'esso equipaggiato con una seconda ottica policapillare con dimensioni del fuoco confrontabili a quelle del fascio X primario. L'incrocio dei fuochi delle due ottiche policapillari (quella montata sulla sorgente e quella del rivelatore) definisce un volume analitico con il quale viene effettuata la scansione dell'opera in studio. La scansione può avvenire o lungo lo spessore (indagine 1D) oppure nelle tre dimensioni (indagine 3D). Nel primo caso, l'indagine CXRF fornisce la distribuzione degli elementi chimici lungo la sequenza stratigrafica dell'opera mentre, nel secondo caso, fornisce le immagini tridimensionali delle distribuzioni elementali nei materiali investigati con risoluzione spaziale nella scala dei micron. Data la natura penetrante dei raggi X e il loro assorbimento nella materia, lo spessore analizzabile mediante la tecnica CXRF dipende dalla tipologia di materiale investigato. In genere è possibile ottenere informazioni su uno spessore dell'ordine di 100-150 micron.

Guida sintetica per la scelta della tecnica CXRF di ISPC

Materiali: tutti i materiali di natura stratigrafica composta da elementi inorganici

Esempi di applicazione: opere pittoriche su qualsiasi supporto, smalti, ceramiche invetriate, patine superficiali di arricchimento o degrado

Posizionamento del campione: verticale e orizzontale

Tipologia di analisi: non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: circa 1000 secondi per analisi 1D, dell'ordine delle ore per il mapping 3D

Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di Mo, 50kV e 0.6mA (potenza 30W)

Dimensione dei fuochi sul punto di misura: circa 10 micron (alla energia della riga del Mo)

Risoluzione spaziale: fino a 3 micron

Altre tecniche presenti nello strumento: micro-XRF spot e imaging

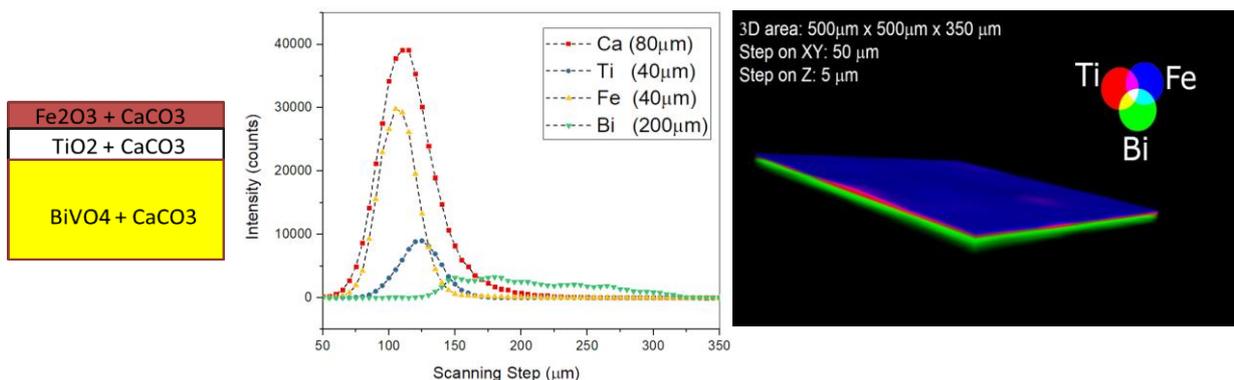
Specifiche analitiche: l'analisi CXRF è video guidata da un microscopio ottico ad elevata risoluzione; le stratigrafie 1D e l'imaging 3D sono fornite in tempo reale durante le misure con spettri XRF per pixel deconvoluti (assenza di artefatti); il software di analisi consente in tempo reale di operare imaging-processing, correlazioni elementali RGB, scatter plots di correlazione, analisi statistica PCA, ICA e NMF, analisi degli spettri su singole regioni di interesse, spettro dei

massimi (per identificare elementi in traccia o inclusioni localizzate).

DETTAGLI TECNICI:

Lo scanner CXRF è composto da una testa di misura spettrometrica equipaggiata con tubo a raggi X microfoco con anodo di Mo di bassa potenza (30W) accoppiato ad un'ottica policapillare fortemente focalizzante. Il fuoco del fascio in uscita dalla sorgente X primaria (tubo + ottica) è pari a circa 10 micron ad una distanza di 3.5mm dalla superficie del campione. Il sistema di rivelazione è posizionato a 90 gradi rispetto alla direzione del fascio primario. Questo consiste di un rivelatore SDD (50 mm² di area attiva e 130 eV risoluzione energetica a 5.9 keV) accoppiato ad un policapillare (semi-lente) con un fuoco sul campione pari anch'esso a 10 micron. L'incrocio dei due fuochi consente di definire il volume analitico con cui effettuare la scansione CXRF dei campioni lungo lo spessore Z (indagine spot 1D) o nelle tre direzioni XYZ (mapping 3D). Sulla testa spettrometrica è presente un microscopio ottico a lunga distanza focale ed elevata risoluzione per effettuare indagini CXRF video-guidate. In una singola scansione lo strumento può coprire un'area di 20x20x20cm³ grazie ad un sistema di assi motorizzati e automatizzati. La risoluzione spaziale delle misure è dell'ordine di 3-5 micron.

Il sistema CXRF opera le scansioni in modo continuo con una velocità massima pari a 50 mm/sec. Al fine di garantire una sufficiente statistica di conteggio le misure vengono effettuate solitamente con un tempo di acquisizione per pixel compreso tra 100ms e 3sec. Al fine di ridurre i tempi di misura, si suggerisce di utilizzare l'imaging CXRF tridimensionale limitatamente a piccole aree di interesse dell'opera in studio e l'analisi stratigrafica puntuale per studi sistematici. Il sistema è dotato di una unità centrale (CU) per il controllo dei parametri operativi di misura e dei sistemi di sicurezza per l'opera. Essa permette le scansioni in tecnologia real-time e le immagini tridimensionali (o delle stratigrafie puntuali) sono disponibili per gli utenti già durante le misure permettendo così di definire la strategia sperimentale durante le misure e di individuare i punti di maggiore interesse da investigare.



Analisi CXRF di una sequenza pittorica. Sono visibili i risultati dell'analisi stratigrafica 1D e del mapping 3D

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORY: CNR ISPC - XRAYLab

NOME STRUMENTO

Scanner per XRD imaging sviluppato da XRAYLab

INFORMAZIONI GENERALI

La diffrazione a raggi X (XRD) consente di determinare le fasi mineralogiche caratterizzanti i materiali oggetto di studio. A differenza delle tecniche analitiche elementari come la tecnica XRF, la tecnica XRD fornisce informazioni sulla natura dei composti chimici (anche in miscele complesse) e sulla loro struttura. Data la natura cristallina di differenti tipologie di materiali antichi, la tecnica XRD è particolarmente indicata nelle analisi di campioni archeologici e di interesse storico artistico e dei loro prodotti di degrado. Il principale limite della tecnica XRD generalmente applicata in situ o in laboratorio è quello di essere puntuale e di fornire solo informazioni locali. Il laboratorio XRAYlab di ISPC ha recentemente sviluppato un innovativo sistema di imaging XRD mobile in grado di fornire le immagini della distribuzione delle fasi cristalline su campioni macroscopici. Tali informazioni risultano cruciali ai fini di una migliore conoscenza dei materiali e delle tecniche di manifattura e per lo studio dei processi di degrado.

Il sistema mobile XRD mapping sviluppato da XRAYLab di ISPC opera la diffrazione di campioni policristallini in geometria radente e a raggi paralleli con il vantaggio di tenere la sorgente X, rivelatore e il campione fissi e senza l'esigenza di operare la scansione angolare degli angoli di Bragg. Questa configurazione sperimentale permette di ottenere pattern XRD accurati, meno affetti da shift angolari e una più elevata risoluzione. La tecnica è non-invasiva e non è necessaria alcuna preparazione dei campioni.

Guida alla scelta della tecnica XRD di ISPC

Campioni: materiali policristallini

Casi ottimali di applicazione: pitture su qualsiasi supporto, metalli, patine di corrosione e degrado.

Posizionamento del campione: verticale, orizzontale

Tipologia di applicazione: non distruttiva e in situ (anche su ponteggi con elevata stabilità).

Tempi di misura: Tempi di misura 8h per una area 10x10cm con step da 1s.

Caratteristiche e parametri della sorgente X: anodo di Cu, 50kV e 0.6mA (potenza 30W)

Dimensione del fascio sul punto di misura: shape rettangolare di 0.2x1mm

Risoluzione angolare dei pattern di diffrazione: circa 0.2 gradi

Caratteristiche del rivelatore: Si-strip (1280 strips) con copertura angolare in 2theta 15-60 gradi.

Altre tecniche presenti nello strumento: acquisizione simultanea di immagini delle fasi (XRD) e immagini elementali (XRF) nello stesso punto di misura

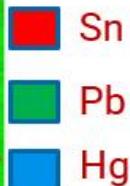
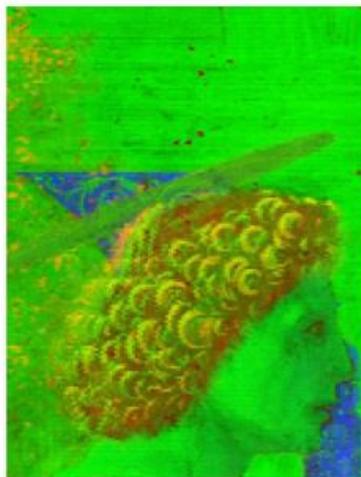
DETTAGLI TECNICI:

Il sistema di imaging XRD sviluppato dal laboratorio XRAYLab di ISPC è un sistema mobile ottimizzato per operare *in situ*. Il sistema consiste di 3 assi lineari XYZ con corsa pari a 50x50x20cm sui quali viene montata di una testa la misura XRD/XRF. Questa è equipaggiata con

una sorgente X microfocus da 30W con anodo di Cu accoppiata ad un'ottica policapillare collimata con una slitta rettangolare. Le dimensioni del fascio sul punto di misura sono pari a 0.2x1mm. La rivelazione del pattern di diffrazione diffuso dai campioni avviene mediante un rivelatore Si-strip sensibile alla posizione e all'energia che copre un range angolare da 15 a 60 gradi in 2theta. Durante le misure è possibile acquisire simultaneamente il pattern XRD e lo spettro XRF per lo stesso punto di misura. Questa modalità viene ottenuta mediante un rivelatore SDD ancillare per XRF posizionato sempre sulla testa di misura e che opera in parallelo, mediante elettronica dedicata, al rivelatore Si-strip della diffrazione. Infine, sulla testa di misura è presente un sensore laser che monitora istante per istante la distanza del fascio dal campione e corregge dinamicamente la posizione seguendo la morfologia della superficie in esame. Le misure XRD/XRF avvengono mediante una scansione (aria massima 50x50cm) ste-by-step con un tempo di acquisizione per step pari a 1s. L'analisi dei dati XRD e XRF e la produzione delle immagini della distribuzione delle fasi (XRD) e degli elementi (XRF) avviene mediante software proprietario programmato sul sistema.



XRF



XRD

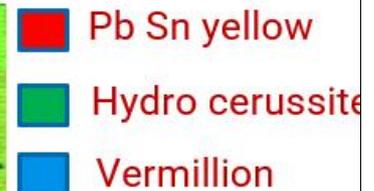
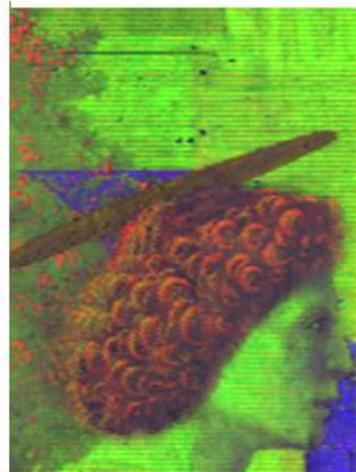


Figura: Lo scanner per XRD mapping in opera presso la Galleria Nazionale dell'Umbria di Perugia nelle analisi di un dipinto di Piero della Francesca. Sotto vengono mostrati i risultati del mapping simultaneo XRD e XRF

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- F.P. Romano, et al., The new version of the portable XRD system of the LANDIS laboratory, *Il Nuovo Cimento* 121 (2005) 881-885.
- G. Gatto Rotondo, et al., Non-destructive characterization of fifty various species of pigments of archaeological and artistic interest by using the portable X-ray diffraction system of the LANDIS laboratory of Catania (Italy), *Microchemical Journal* 96 (2010) 252–258.
- F.P. Romano et al., The compositional and mineralogical analysis of fired pigments in Nasca pottery from Cahuachi (Peru) by the combined use of the portable PIXE-alpha and portable XRD techniques, *Microchemical Journal* 99 (2011) 449–453.
- L. Pappalardo, et al., The complementary use of PIXE-alpha and XRD non-destructive portable systems for the quantitative analysis of painted surfaces, *X-Ray Spectrometry*, 37 (2008) 370–375.

Referente: Paolo Romano francescopaolo.romano@cnr.it

LABORATORIO INFN CHNet

NOME STRUMENTO

Scanner per radiografie digitali *in situ* sviluppato presso i laboratori di CHNet

INFORMAZIONI GENERALI

La radiografia X, specialmente per i dipinti su tela e tavola, fornisce informazioni sullo stato di conservazione dell'opera analizzata e può rilevare particolari importanti per la storia dell'opera, quali la presenza di dipinti sottostanti, i pentimenti e/o gli interventi di restauro eseguiti nel passato. Inoltre, l'impiego di rivelatori digitali permette non solo di avere un immediato riscontro del risultato radiografico, ma anche di mantenere un'ampia gamma di livelli di grigio e di effettuare la mosaicatura delle immagini radiografiche via software.

Lo scanner per le radiografie *in situ* è stato progettato e costruito per rispondere all'esigenza di non spostare le opere dal luogo in cui esse sono conservate, pur non avendo limiti nelle dimensioni delle opere da analizzare.

DETTAGLI TECNICI

Lo scanner per radiografie *in situ* è costituito da due unità indipendenti in alluminio (ciascuna di peso inferiore ai 30 kg), una per la movimentazione del tubo a raggi X e l'altra per quella del rivelatore digitale. Tipicamente le due unità sono poste ad una distanza di 1 m l'una dall'altra. L'acquisizione delle radiografie copre un'area di 1 x 1 m², tuttavia la scansione di dipinti di dimensioni maggiori è possibile. La scansione viene adattata sulle basi delle dimensioni del dipinto, e le immagini ottenute vengono mosaicate automaticamente al termine della misura. Ad esempio, la scansione di un'area di 1 x 1 m² richiede 144 scatti e circa 3 ore.

Il tubo a raggi X impiegato è un YXLON EVO 160D, massima tensione anodica 160 kV, corrente massima 7 mA, raffreddato ad aria. Il rivelatore è un Teledyne DALSA RedEye200, costituito da una matrice di fotodiodi con tecnologia CMOS combinata a uno schermo scintillatore di Gd₂O₂S. È composto da 1024 x 1000 pixel di 96 µm per lato e la profondità di digitalizzazione è di 12 bit/pixel.

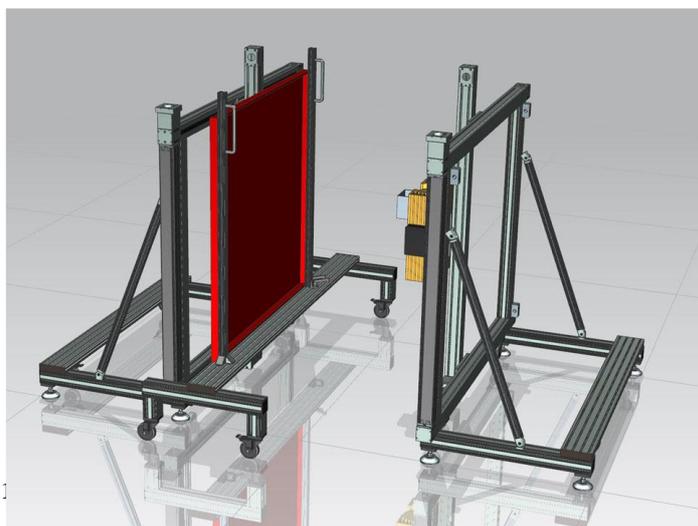


Figura 1

ella per il

MAGGIORI INFORMAZIONI

- M. Patti, R. Fontana, M. Raffaelli, G. Gollini, A. Impallaria, F. Petrucci, F. Tisato, Catalogo della mostra “Stati d'animo. Arte e psiche tra Previati e Boccioni”, Ferrara, **2018**, 182-187
- Impallaria, A.; Evangelisti, F.; Petrucci, F.; Tisato, F.; Castelli, L.; Taccetti, F. A new scanner for in situ digital radiography of paintings. *Appl. Phys.* **2016**, *122*, 1043

Referenti: Lisa Castelli (lisa.castelli@fi.infn.it)
Francesco Taccetti (ftaccetti@fi.infn.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Radiografia digitale a raggi X presso il laboratorio XRAYLab di CNR-ISPC

INFORMAZIONI GENERALI

La radiografia digitale è una tecnica ad immagine ampiamente utilizzata in ambito museale principalmente per lo studio dei dipinti su tela e su tavole di legno. La sua applicazione risulta particolarmente utile nello studio qualitativo dei materiali, del processo creativo dell'artista, della tecnica realizzativa e del suo stato di conservazione. Data la natura non a contatto e non-invasiva della tecnica, la radiografia digitale risulta particolarmente indicata quando devono essere studiate opere fragili, quali ad esempio quelle pittoriche.

L'immagine radiografica viene ottenuta irraggiando con un fascio di raggi X non collimato emesso da un tubo di media potenza. In questo modo viene illuminata un'area del campione con dimensioni lineari dell'ordine di diverse decine di cm. In base alla densità e spessore del campione, il fascio primario viene assorbito in modi differenti delle diverse regioni dell'opera producendo su un opportuno sensore posto dietro l'opera una immagine in scala di grigi. Utilizzando rivelatori radiografici di elevata superficie attiva (flat panel digitali con aria attiva di circa 45x35cm² nel sistema di ISPC-CT), è possibile ottenere in un unico scatto l'immagine radiografica di un'ampia area dell'opera e in tempi ridotti (qualche decina di secondo). Nel caso di opere di grandi dimensioni è possibile operare una mosaicatura della superficie con un successivo stitching automatico delle immagini operato via software.

Guida sintetica per la scelta della tecnica di radiografia digitale di ISPC

Materiali: Materiali con elevato grado di radio opacità

Casi ottimali di applicazione: opere pittoriche su qualsiasi supporto anche di grandi dimensioni (in modalità stitching), opere in metallo o in legno a geometria (quasi) piana.

Posizionamento del campione: verticale

Tipologia di analisi: non-distruttiva e in-situ

Tempi di misura: tipicamente <1 minuto a scatto su un'area di 43x35cm² oppure su un'area 46x38 cm² (a seconda del rivelatore)

Risoluzione attiva: 2816 x 2304 pixel con pixel size da 154 micron oppure 140 micron

Caratteristiche e parametri della sorgente X: Tubo a raggi X Teledyne CPD160, 160Kv e 6mA, con filtraggi in Be oppure Al con differenti fattori di forma

Rivelatore: Flat panel Teledyne GO-SCAN 4335, tecnologia aSi, 43x35cm², 2816x2304 pixel, pixel size 154 micron oppure Flat panel VIVIX-S 1417N, tecnologia aSi, 2.560x3.072 pixel, pixel size 140 micron

Profondità scala di grigi: 16bit

Interfaccia dati: GigaE oppure WI-FI

Frame rate: tipico 0.3sec

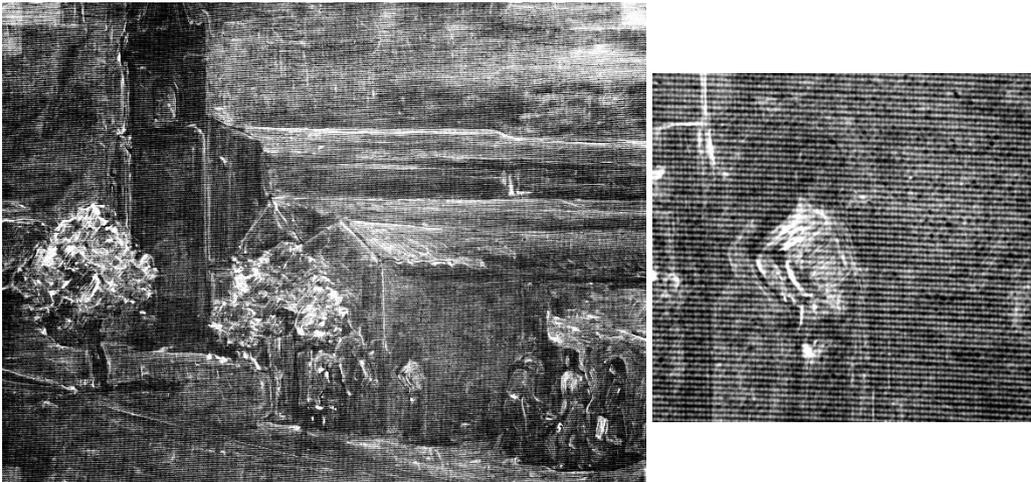
Sicurezza: come tutte le tecniche basate sui raggi X, le misure radiografiche avvengono seguendo le prescrizioni dell'esperto qualificato sulla radioprotezione e necessitano di locali idonei e con pareti spesse.

DETTAGLI TECNICI

Il sistema di radiografia digitale del laboratorio XRAYLab di CNR-ISPC è composto da una sorgente a raggi X con parametri operativi massimi di 160kV e 6mA. La sorgente può operare con diverse finestre di filtraggio sia in Be che Al anche con diversa forma (circolare e rettangolare). L'angolo di uscita è pari a 60° e 40° rispettivamente nelle direzioni Y e X.

La rivelazione radiografica avviene mediante due flat-panel in silicio amorfo di dimensioni rispettivamente di 43x35cm pixel e 46x38cm, con pixel-size rispettivamente pari a 154 micron e 140 micron. Nei casi di opere di grande dimensione è possibile sfruttare un frame in alluminio di dimensioni pari a 200x180cm da porre dietro il dipinto per scatti successivi. Il mosaico viene poi composto via software alla fine delle acquisizioni dell'intera opera.

I due flat panel possono lavorare con interfaccia dati Giga-Ethernet o wi-fi e sono dotati di batteria con autonomia fino ad 8h (per operare anche nei casi in cui non sia possibile un attacco diretto alla rete elettrica). Tipicamente le acquisizioni di un dipinto, posizionato tra sorgente e rivelatore, avvengono con una distanza tra sorgente-rivelatore dell'ordine di 1.0m-1.5m e, nel caso tipo di una tela dipinta, con il tubo operante 30kV e 6mA e con un tempo di esposizione compreso tra 30 e 60 secondi. Il frame rate dei due flat-panel è dell'ordine di 0.3sec e la dinamica dei grigi a 16 bit. Tutto il sistema opera mediante un laptop remoto.



Radiografia di un dipinto moderno di 60x40cm e di un suo dettaglio acquisito in 30s a 30kV e 5mA

Referente: Francesco Paolo Romano (francescopaolo.romano@cnr.it)

LABORATORIO INFN CHNet

NOME STRUMENTO

Tomografo X sviluppato presso i laboratori di CHNet

INFORMAZIONI GENERALI

La Tomografia Assiale Computerizzata (TAC) con raggi X è una tecnica diagnostica non distruttiva in grado di visualizzare in 3D la struttura interna degli oggetti analizzati. Tipicamente la TAC si esegue su beni mobili (molto raramente e con sistemi progettati ad hoc, dotati di una sorgente di raggi X con energia di qualche MeV, può essere effettuata su elementi architettonici come pali o colonne, o grandi statue, ma solo se attorno a questi c'è spazio sufficiente per montare il sistema e se gli spessori e i materiali lo permettono).

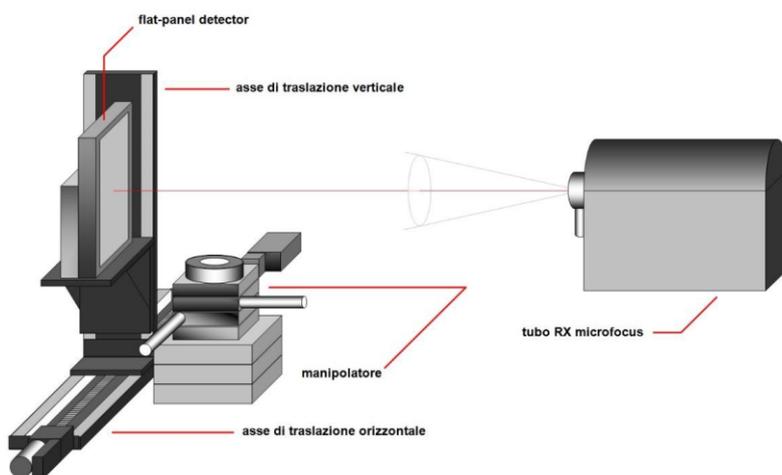
La TAC è adatta a una grande varietà di manufatti e di materiali, ma difficilmente, con uno stesso sistema, si potranno effettuare analisi su tutte le tipologie di oggetti. Le maggiori limitazioni sono date dalla densità del materiale (metalli), dallo spessore totale medio (marmo pieno), dall'ingombro (grandi oggetti).

I sistemi sviluppati presso i laboratori di CHNet sono adatti a materiali medio-leggeri come legno, argilla, terracotta etc... e rendono possibile effettuare analisi sia su statue che su dipinti su tavola. La TAC misura di fatto la densità locale del materiale ma ha una capacità di distinzione limitata tra i materiali. Si differenziano chiaramente tra loro i materiali con densità sufficientemente diversa: metalli leggeri da metalli pesanti, legno da metallo, cavità dal pieno, stucco su legno etc.. Sono stati sviluppati due sistemi portatili, uno per oggetti di dimensioni medio-piccole, l'altro per grandi oggetti.

DETTAGLI TECNICI

Sistema trasportabile ad alta risoluzione per oggetti di medie dimensioni

Rivelatore montato su un sistema di traslazione costituito da 2 assi ortogonali con corsa di 30 cm



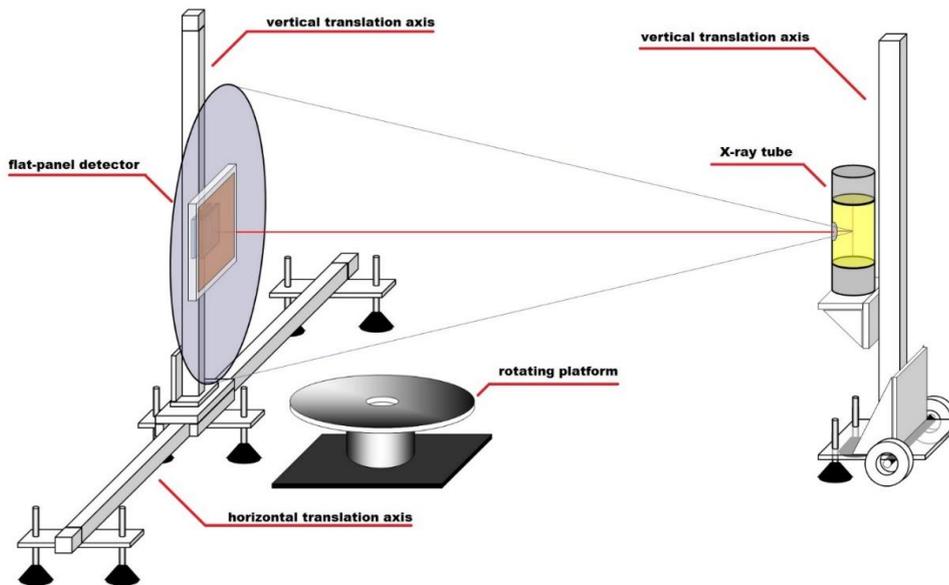
Detector: flat panel VARIAN PS2520D

FOV: 25 x 20 cm²

Pixel size: 127 μm

Sistema mobile per RX/CT di grandi oggetti

Sistema a due assi ortogonali, ciascuno con una corsa di 1.5 m, su cui è montato un flat-panel.
 Il sistema è trasportabile in situ per mezzo di un furgone con vano di carico di almeno 2 m di profondità.
 La sorgente abitualmente utilizzata è un tubo RX Gilardoni ad ampio cono di emissione con tensione massima 200 kVp.



Detector: Flat-panel Hamamatsu C10900D
 FOV: 12 x 12 cm²
 Pixel size: 100 μm

MAGGIORI INFORMAZIONI

- “X-ray computed tomography of an ancient large globe”**, F. Casali, M. Bettuzzi, D. Bianconi, R. Brancaccio, S. Cornacchia, C. Cucchi, E. Di Nicola, A. Fabbri, N. Lanconelli, M. P. Morigi, A. Pasini, D. Romani, A. Rossi, Optical Methods for Arts and Archaeology Conference, 13-14 June 2005, Munich, Germany. Published on Proc. SPIE Vol. 5857, (2005), pp. 253-260, Optical Methods for Arts and Archaeology, Renzo Salimbeni, Luca Pezzati, Eds
- “X-ray 3D computed tomography of large objects: investigation of an ancient globe created by Vincenzo Coronelli”**, M.P. Morigi, F. Casali, A. Berdondini, M. Bettuzzi, D. Bianconi, R. Brancaccio, A. Castellani, V. D'Errico, A. Pasini, A. Rossi, C. Labanti, and N. Scianna, Proceedings of SPIE: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology, Vol. 6618, 66180A, (2007)
- “Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics “**, M.P. Morigi, F. Casali, M. Bettuzzi, R. Brancaccio, V. D'Errico (2010). Applied Physics A, vol. 100(3), pp. 653-661.
- “Un sistema trasportabile per la radiografia digitale di grandi dipinti: sviluppo ed esperienze sul campo”**, M.Bettuzzi, M.P.Morigi, A.Lai, A.Lacchini, L.Ragazzini, S.Arniani, R.Brancaccio, F.Casali, Atti del Congresso AIAR 2012, Marzo 2012, Pàtron Editore, Bologna, pp

922-932.

- **“Advanced imaging systems for diagnostic investigations applied to Cultural Heritage”**, E.Peccenini, F.Albertin, M.Bettuzzi, R.Brancaccio, F.Casali, M.P.Morigi, F.Petrucci, Journal of Physics: Conference Series, Volume 566, Number 1, 12 December 2014, pp. 12022-12028(7).
- **“Indagine tomografica”**, Matteo Bettuzzi, Rosa Brancaccio, Franco Casali, Maria Pia Morigi, Eva Peccenini, in **Raffaello, La Muta. Indagini e restauro**, monografia, collana Problemi di conservazione e restauro, Edifir Edizioni Firenze, 2015, pag.101-106.
- **“Computed tomography of a medium size Roman bronze statue of Cupid”**, M.Bettuzzi, F.Casali, M.P. Morigi, R.Brancaccio, D.Carson, G.Chiari , J.Maish, Applied Physics A, March 2015, Vol.118, Issue 4, pp 1161-1169.

Referenti: Lisa Castelli (lisa.castelli@fi.infn.it)
Francesco Taccetti (ftaccetti@fi.infn.it)

2D/3D DIGITIZATION AND SURVEY TECHNIQUES

LABORATORIO: CNR-ISTI - Visual Computing Lab

NOME STRUMENTO

Dome di illuminazione per l'acquisizione controllata di immagini RTI; strumenti software per processare i dati rilevati e renderli accessibili su web

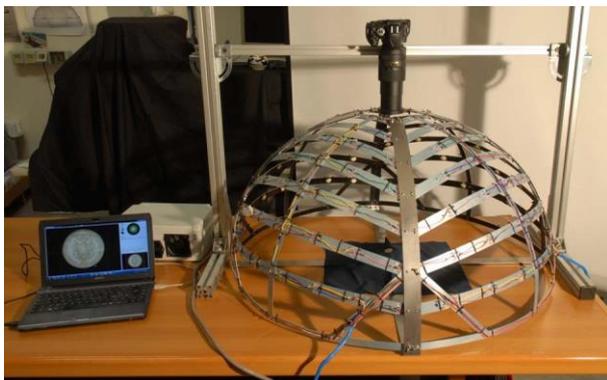
INFORMAZIONI GENERALI:

Le immagini a luce variabile (Reflectance Transformation Imaging, RTI) sono un formato immagine che permette di acquisire le caratteristiche di riflettanza di una superficie e riprodurle a tempo di visualizzazione in modo interattivo, dando all'utente la possibilità di variare a piacere la direzione di incidenza dell'illuminazione in fase di analisi visiva dei risultati (<http://vcg.isti.cnr.it/rti/>).

DETTAGLI TECNICI:

CNR ISTI ha progettato e sviluppato un dome di illuminazione (<http://vcg.isti.cnr.it/rti/acquisition.php>) per l'acquisizione controllata di immagini RTI e tutti gli strumenti software per processare i dati rilevati e renderli accessibili su web (<http://vcg.isti.cnr.it/rti/webviewer.php>)

Il sistema CNR ISTI permette l'acquisizione di oggetti in un intervallo di dimensioni che va dai pochi millimetri a circa 25 cm di diametro.



LABORATORIO – CNR ISPC

NOME STRUMENTO:

Scanner per grandi formati

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo scanner per grandi formati in dotazione del MOLAB è uno scanner dotato di un ampio piano di ripresa e consente la digitalizzazione professionale di documenti cartacei (e non solo), spessi e di grande formato, ovvero cartografie, mappe, disegni, tavole ecc. La presenza di speciali rulli di trasporto, che fungono da punti morbidi di pressione, consente lo scivolamento sicuro dei documenti. L'acquisizione è a colori, b/n e toni di grigio, con un'elevata risoluzione ottica, accuratezza del colore e ottima velocità di produzione. La tecnologia di scansione CIS (Contact Image Sensor) permette la riproduzione nitida e netta di dettagli e linee. I file di output sono gestiti da un piccolo controller touchscreen per le elaborazioni rapide di post-produzione e possono essere archiviati direttamente su server FTP, hot folder, unità USB, applicazioni cloud in Internet.

DETTAGLI TECNICI:

- modello: Scanner HP SD Pro 44
- larghezza massima scansione: 1118 mm
- dimensione massima scansione: 915 mm
- tipi di supporti: carta non abrasiva, seppia, cianografie, pellicola in plastica, laminato plastico, pannelli di polistirolo, cartone, giornale
- risoluzione ottica: 1200x1200 dpi
- velocità di scansione: a colori = 15 m/min a 200 dpi; scala di grigio = 22,9 m/min a 200 dpi
- tecnologia: tecnologia di scansione CIS
- accuratezza di scansione: $0,1\% \pm 1$ pixel
- acquisizione dati (colore/mono): 48 bit/16 bit
- formato scansione: PDF, PDF/A, TIFF, JPG, JPG2000, DWF, generazione PDF multi-pagina
- PC: ampio touchscreen da 396 mm (15,6"); Windows 10; Intel Core i7; memoria 4 GB; disco rigido 500 GB



Referente: Giuseppe Scardozzi (giuseppe.scardozzi@cnr.it)

LABORATORIO – CNR ISPC

NOME STRUMENTO:

Scanner Planetario da tavolo

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo scanner planetario disponibile nel MOLAB è un sistema di scansione in grado di acquisire digitalmente documenti e volumi realizzati con supporti di diversa natura, anche in stato precario di conservazione, con formati fino a A2+ (625 mm x 420 mm), sia a colori che in scala di grigio. Il processo di digitalizzazione avviene velocemente, con ridotte distorsioni geometriche e alta fedeltà nella riproduzione dei colori; viene inoltre garantita la preservazione dell'integrità degli originali. Il sistema, integrato da una fotocamera digitale professionale, consente infatti di riprodurre l'oggetto evitando il contatto diretto con esso, senza che sia necessario il capovolgimento dei volumi per girare pagina, poiché lo scanner è equipaggiato di un supporto adattabile e a correzione integrata delle immagini angolate a V, funzionale alla gestione di libri che possono essere aperti a 120° o anche solo a 90°.

Lo strumento è inoltre dotato di un computer integrato con software professionale che consente di controllare il processo di scansione con un'ampia gamma di opzioni e funzionalità per la digitalizzazione massiva. Tra le numerose funzioni di post-produzione vi sono l'ottimizzazione e la correzione delle immagini; sono inoltre possibili diversi formati di output, come .tiff, .jpg, .raw o .pdf multipagina, con testo OCR in 51 lingue diverse.



DETTAGLI TECNICI:

- Modello: ElarScan A2-400(600)KS
- Area scansione (max): A2+ (625 mm x 420 mm)
- Risoluzione: fino a 400 dpi (fino a 750 dpi in modalità macro su A5+)
- Sistema di scansione: sensore integrato fotocamera DSLR (Digital Single-Lens Reflex) da 24MP (sensore da 50MP per i modelli A2-600)
- Tempo di scansione: a formato intero: 0,5 secondi per acquisizione, meno di 4 secondi per l'intero ciclo di salvataggio in modalità continua
- Illuminazione: illuminazione LED priva di UV/IR regolabile dall'utente, selezionabile centrale o laterale
- Luci laterali: tipo "Repro"
- Completo di tecnologia di appiattimento FGA (con vetro sollevabile a movimentazione automatica) che può essere disattivata per eseguire scansioni anche senza vetro.
- Software: "ELAR ScanImage" software per scansioni in batch e post-produzione
- Caratteristiche: vetro di appiattimento sollevabile
- L'originale viene sollevato a contatto con il vetro da un sistema motorizzato sensibile.
- Rimuovendo il vetro, lo scanner può operare al 100% delle sue capacità, anche con modalità di scansione a V.

Referente: Giuseppe Scardozi (giuseppe.scardozi@cnr.it)

**STRUMENTAZIONE MOLAB:
DESCRIZIONE
LABORATORIO: CNR-ISPC**

NOME STRUMENTO

Foto/Videocamera sferica Insta 360 Pro2

INFORMAZIONI GENERALI:

La fotocamera Insta 360 Pro2 consente la ripresa di immagini e filmati a 360 gradi con risoluzione fino a 12k, utilizzabili in vario modo: per la creazione di virtual tour interattivi e non; per rilievi in fotogrammetria sferica, con la possibilità di acquisire in breve tempo modelli tridimensionali (funzione particolarmente utile in ambienti chiusi); nonché per la realizzazione di effetti di Realtà Aumentata (ad esempio in relazione a pannellistica con QR code) e di video immersivi in time lapse. Prevede una fase di acquisizione sul campo ed una di post-processing dei dati. Lo strumento effettua la cattura video e fotografica con restituzione di fotogrammi equirettangolari in risoluzione standard a 8k (per le foto sono raggiungibili i 12k in particolari condizioni), nonché la cattura audio con microfono quadridirezionale. Possibilità di output in formato raw con informazioni colorimetriche e possibilità di editing avanzato.

DETTAGLI TECNICI:

Risoluzione standard 8k.

Risoluzione massima 12k (burst).

Funzioni di esposizione: HDR e bracketing multiesposizione,

Possibilità di output monoscopico o stereoscopico. Opzioni di streaming video. Comando a distanza tramite tablet. Funzione di time lapse.

ISO range: 100-6400

Lenti: 6 x 200° F2.4 fish-eye

Foto:

Real-time Stitching:

7680 x 7680 (8K 3D)

7680 x 3840 (8K 2D)

Post-processing Stitching:

7680 x 7680 (8K 3D)

7680 x 3840 (8K 2D)

Video:

Post-processing Stitching:

7680 x 3840 @30 FPS HDR (8K 2D)

7680 x 7680 @30 FPS (8K 3D)

7680 x 3840 @60 FPS (8K 2D)

6400 x 6400 @60 FPS (6K 3D/2D)

3840 x 3840 @120 FPS (4K 3D/2D Binning)

Real-time Stitching:

3840x3840@30fps (4K 3D)

3840x1920@30fps (4K 2D)

Formati di output: .jpg, .dng, .mp4

Condizioni di operatività: 0°-40°. Non impermeabile.

Altre informazioni: <https://onlinemanual.insta360.com/pro2/en-us/compare/specification>

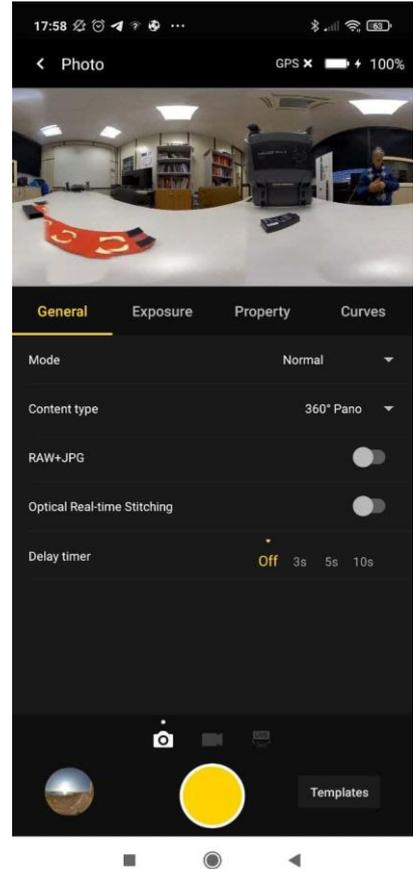


Figure: primo piano dello strumento e del software di controllo, fasi di utilizzo dello strumento ed esempio di immagine equirettangolare.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Palombini A.; D'Annibale E.; Demetrescu E.; Di Nucci A.; Izzo P.; Fanini B.; Pagano A.; Peretto C.; Sala B., 2020, "*I paesaggi del passato virtual tour nel paleolitico di Isernia*" Atti del convegno: Reti Museali e Preistoria, Archeomolise, 35.
- Bevilacqua L.; Fanini B.; Mariniello N.; Palombini A.; Scotto di Carlo V.; Sorgente A.; Vanacore P., (in stampa) "Full immersion in Cultural Heritage environments: a new IDEHA for data managing and displaying", in: atti del convegno ArcheoFOSS 2021. GROMA 2022, Università di Bologna.

Referente: Augusto Palombini (augusto.palombini@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Global Navigation Satellite System (GNSS)

- Leica GS18T
- GeoMax Zenith60 LTE-UHF
- GeoMax Zenith60 LTE-UHF-IMU

INFORMAZIONI GENERALI:

Da un punto di vista geodetico-topografico il GPS, o meglio il GNSS (Global Navigation Satellite System), è uno strumento di misura che impiegato nell'ambito del rilievo topografico per posizionare punti della superficie fisica della Terra, determinandone le coordinate-.

Il GPS è un misuratore delle componenti di un vettore nello spazio tridimensionale (vettore che congiunge due punti della superficie fisica della Terra), da cui è possibile ricavarne l'orientamento e la lunghezza. È composto da un sistema di strumenti (2 ricevitori satellitari, uno configurato come base e l'altro come rover, e di un controller) che fornisce un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura globale, consentendo di determinare le coordinate geografiche su un qualunque punto della superficie terrestre.

Il MOLAB dispone di differenti modelli di GNSS:

Leica GS18T

GeoMax Zenith60 LTE-UHF

GeoMax Zenith60 LTE-UHF-IMU

DETTAGLI TECNICI:

Sistema GNSS (1)

Nome modello: 1 **Leica GS18T**



GNSS dotato di autoapprendimento: Leica RTKplus = selezione autonoma dei satelliti per adattarsi ad ogni condizione, SmartLink (servizio di correzione in tutto il mondo) = posizionamento preciso in zone remote (3 cm 2D) da una convergenza iniziale alla precisione totale nell'arco di 20 – 40 min;

SmartLink fill (servizio di correzione in tutto il mondo) = fino a 10 minuti di copertura delle interruzioni RTK (3 cm 2D)

Leica SmartCheck: controllo continuo della soluzione RTK, affidabilità al 99,99%

Tracciamento del segnale: GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2, L32), BeiDou (B1, B2, B32), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC, E62), QZSS (L1, L2, L5, LEX2), NavIC L53, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), L-band

Prestazioni di misura e precisioni: base singola = orizz.: 8 mm + 1 ppm / vert.: 15 mm + 1 ppm; rete RTK = orizz.: 8 mm + 0,5 ppm / vert.: 15 mm + 0,5 ppm

Controller e software: Leica Captivate, controller Leica CS20, tablet Leica CS35

Registrazione dati: memoria flash = scheda SD rimovibile (8 GB); tipo dati e velocità di registrazione = dati grezzi GNSS Leica e dati RINEX fino a 20 Hz

Alimentazione: alimentazione interna = batterie Li-Ion ricaricabili e removibili (2,8 Ah / 11.1 V); alimentazione esterna = nominale 12 V CC – intervallo ammesso 10,5 – 28 V CC; durata = 7 ore di ricezione (Rx) dei dati con la radio interna, 5 ore di trasmissione (Tx) dei dati con la radio interna, 6 ore di ricezione/trasmissione dei dati con il modem del telefono interno.

Sistema GNSS (2)

Nome modello: **1 GeoMax Zenith60 LTE-UHF**



Affidabilità del ricevitore: 99,99%

Precisione e prestazioni del ricevitore: RTK = orizz.: 8 mm + 1 ppm / vert.: 15 mm + 1 ppm; rete RTK Network = orizz.: 8 mm + 0,5 ppm / vert.: 15 mm + 0,5 ppm affidabilità al 99,99%

Tracciamento del segnale: GPS (L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5), Glonass (L1 C/A, L2 C/A, L2P, L3), BeiDou (B1I, B1C, B2I, B2a, B2b, B3), Galileo (E1, E5a, E5b, AltBOC, E6), QZSS (L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6), NavIC L53, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), L-band

Registrazione dati: doppia; scheda microSD removibile e memoria interna da 8 GB

Alimentazione interna: due batterie interne = agli ioni di litio da 3,4 Ah / 7,2 V, sostituibili a caldo; alimentazione esterna: da 9 V a 28 V, connettore LEMO®; durata: 12,5 h in modalità statica / 11 h in modalità rover.

Referente:

Giuseppe Scardozi: giuseppe.scardozi@cnr.it

Sistema GNSS (3)

Nome modello: **2 Zenith60 LTE-UHF-IMU**



Kit di 2 sistemi GNSS con set multi costellazione dotato di 555 canali possibilità di configurazione base + rover

Affidabilità del ricevitore: 99,99%

Precisione e prestazioni del ricevitore: RTK = orizz.: 8 mm + 1 ppm / vert.: 15 mm + 1 ppm; Statico Lungo = orizz.: 3 mm + 0,1 ppm / vert.: 3,5 mm + 0,4 ppm affidabilità al 99,99%

Tracciamento del segnale: GPS (L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5), Glonass (L1 C/A, L2 C/A, L2P, L3), BeiDou (B1I, B1C, B2I, B2a, B2b, B3), Galileo (E1, E5a, E5b, AltBOC, E6), QZSS (L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6), NavIC L53, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)

Registrazione dati: doppia; scheda microSD removibile e memoria interna da 8 GB

IMU: Speciale sensore per il calcolo di punti alla punta della palina quando questa è inclinata fino a 60°.

Accessori:

- 2 Tablet eSurvey UT32 Android per GPS
- 1 Tripode in alluminio con tricuspide
- 2 X-PAD Ultimate survey GNSS
- 2 Palina con prisma 2,5 m
- 1 Tricuspide con adattatore porta prisma/gps
- 2 X-Pad Office X-TOPO

Referenti:

Daniele Ferdani: daniele.ferdani@cnr.it
Andrea Angelini: andrea.angelini@cnr.it

LABORATORIO: CNR ISPC

NOME STRUMENTO

Laser scanner Faro Focus S350
Laser scanner Faro Focus S150

INFORMAZIONI GENERALI:

La strumentazione impiegata per l'esecuzione delle scansioni laser 3D è costituita da due laser scanner Faro serie S, con sistema di misura a differenza di fase, dotati di GPS, fotocamera integrata e controllo in modalità remota. Si tratta di una strumentazione compatta e leggera che permette di garantire numerosi stazionamenti, il rispetto di tempi rapidi di acquisizione e accuratezza e precisione del dato.

DETTAGLI TECNICI:

I range d'acquisizione della strumentazione sono rispettivamente 0,6 – 350 m. per il Faro 350 e 0,6 – 150 m. per il Faro 150, il campo di vista è di 300° in verticale e 360° in orizzontale, la risoluzione minima è 0,009° (40.960 3D-pixel a 360°) in verticale e 0,009° (40.960 3D-pixel a 360°) in orizzontale, la velocità di misura massima è di 976.000 (punti/secondo), l'errore di distanza lineare è ± 2 mm, la fotocamera integrata a colori ha risoluzione massima di 70 megapixel. Gli strumenti sono inoltre dotati di camera esterna (per acquisizioni speditive), sensore GPS, bussola e compensatore biassiale (precisione di 0,015°) con un range di misurazione $\pm 5^\circ$. I principali vantaggi della strumentazione si esplicitano in una risoluzione massima assoluta della singola scansione dell'ordine 1,6mm, nella messa in bolla e corretta verticalità in ogni stazione di presa, che sono garantiti dal compensatore biassiale integrato, in una nuvola di punti con attributo RGB, con esatta corrispondenza fra dato cromatico e geometria, assicurata dalla fotocamera integrata o da quella esterna, nella riduzione dei coni d'ombra grazie alla maneggevolezza e alle dimensioni contenute degli strumenti, che possono essere quindi posizionati facilmente anche in punti strategici complessi ed eventualmente gestiti anche da remoto, nella possibilità di notevole sovrapposizione fra le scansioni grazie alla velocità di acquisizioni dei punti che garantisce una sensibile riduzione della deviazione standard nella registrazione finale.



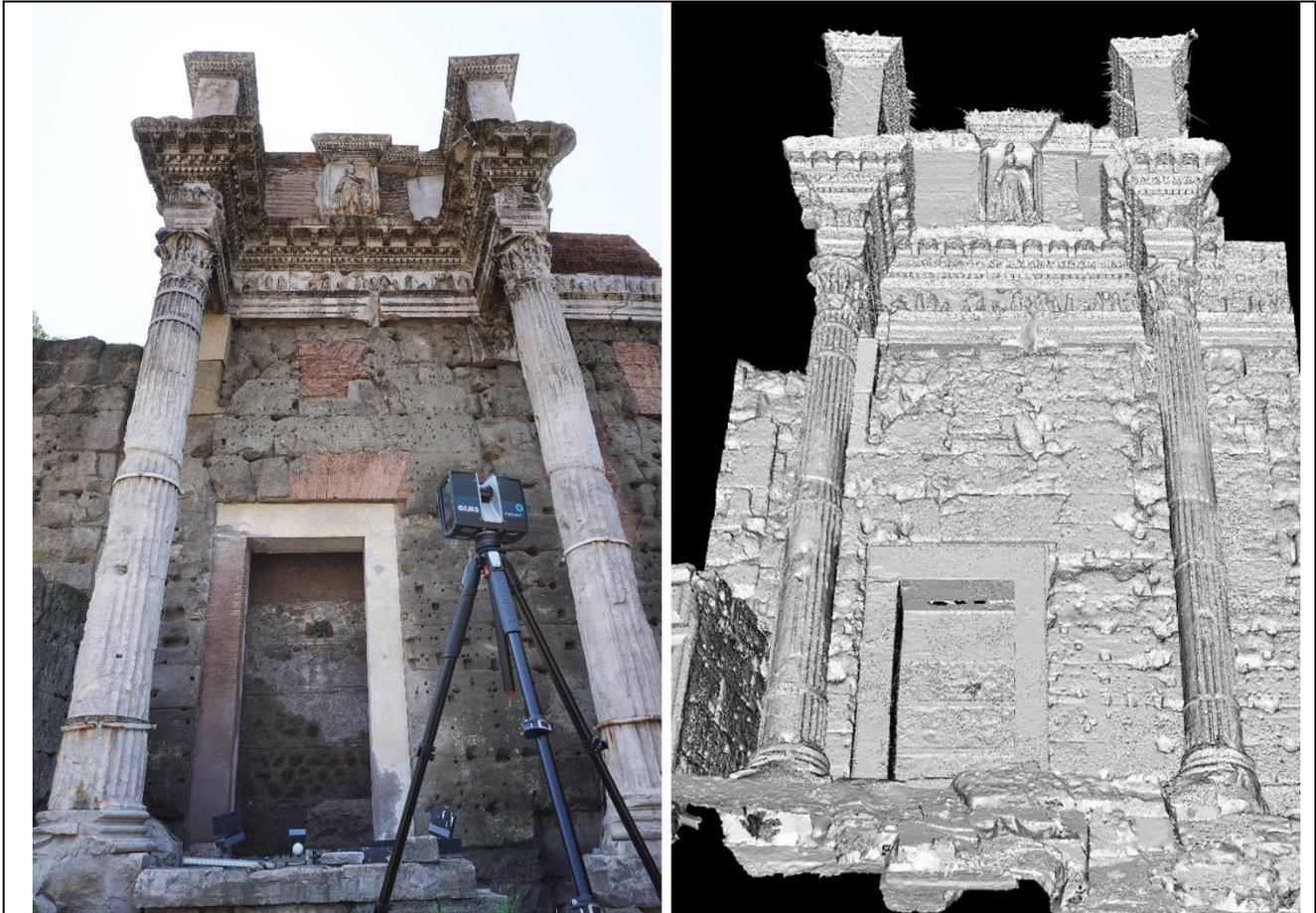


Figure 1-3: Condizioni operative dello strumento Faro S350

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Recent trends in the application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in Heritage Science: from micro- to non-invasive FT-IR, , Physical Sciences Reviews 4(11), 20180006, eISSN 2365-659 <https://doi.org/10.1515/9783110457537-006>

Referenti: Daniele Ferdani (daniele.ferdani@cnr.it)

Andrea Angelini (andrea.angelini@cnr.it)

STRUMENTAZIONE MOLAB: DESCRIZIONE

LABORATORIO: CNR-INO

NOME STRUMENTO

Laser Scanner Faro Focus Premium

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo strumento Laser Scanner Faro Focus disponibile nel MOLAB è utilizzabile per le indagini in situ essendo estremamente maneggevole (230 x 183 x 103 mm ed un peso di 4,4 Kg), veloce e completamente non invasivo. Utilizza tecnologia laser a differenza di fase, (per cui la distanza è calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta, ricavando quindi le informazioni sulle coordinate dello spazio) con alta velocità di acquisizione, (2.000.000 punti/sec) ed elevato grado di precisione.

La tecnologia laser scanner è una metodologia di rilievo ad oggi estremamente precisa, che permette la creazione di un modello tridimensionale .

Il range di misura si estende a 350m di raggio su superfici con coefficiente di riflettanza del 90%.

Un ricevitore GPS integrato, permette di correlare le singole scansioni in fase di post-processing.

I dati di scansione 3D vengono gestiti nel software proprietario o importati in altre applicazioni specificatamente realizzate da terze parti. Mediante il trattamento della nuvola di punti è possibile calcolare distanze, aree e volumi, estrarre sezioni, profili ed effettuare elaborati 2D quali piante e prospetti.

DETTAGLI TECNICI:

White, 90% Reflectivity 0.1 mm @ 10 m, 0.2 mm @ 25 m

Dark-grey, 10% Reflectivity 0.3 mm @ 10 m, 0.4 mm @ 25 m

Black, 2% Reflectivity 0.7 mm @ 10 m, 1.2 mm @ 25 m

Max Speed Up to 2 MPts/sec

3D Accuracy 3 2 mm @ 10 m, 3.5 mm @ 25 m

Ranging Error 4 ±1 mm

Angular Accuracy 5 19 arcsec

Temperature Range Operating: +5 ° to +40 °C,

Extended Operating: -20 ° to +55 °C,

Storage: -10 ° to +60 °C

Color Resolution Up to 266 MPx color

Field of View 300° vertical / 360° horizontal

Max. Scan Speed 97 Hz (vertical)

Laser Class Laser Class 1

Wavelength 1553.5 nm

Beam Divergence 0.3 mrad (1/e)

Beam Diameter at Exit 2.12 mm (1/e)

Data Storage SATA 3.0 SSD 128 GB

Scanner Control Via touch screen display and WLAN connection



Figura: sistema laser scanner

MAGGIORI INFORMAZIONI:

-

Referente: Valentina Di Samo (valentina.disarno@ino.cnr.it)

NOME STRUMENTO:

Scanner a luce strutturata GOM Atos 5M; software per elaborare i dati acquisiti e renderli accessibili su web

INFORMAZIONI GENERALI:

La produzione di modelli digitali 3D che rappresentano la superficie esterna di un'opera d'arte a piccola o media scala (da pochi centimetri fino a 2-3 metri di larghezza o altezza) può essere realizzata mediante sistemi a scansione 3D di tipo attivo, che adottano il principio della triangolazione ottica. <http://vcg.isti.cnr.it/>

DETTAGLI TECNICI:

CNR ISTI dispone di un sistema a luce strutturata GOM Atos 5M, uno strumento metrologico ad alta precisione.

Nel contesto di un progetto di digitalizzazione 3D, CNR ISTI può mettere a disposizione lo strumento di acquisizione, software specializzati per l'elaborazione dei dati e personale altamente qualificato per la pianificazione e realizzazione dell'azione di scansione e la successiva elaborazione dei dati.

CNR ISTI offre anche competenze e strumenti per la visualizzazione interattiva online dei dati digitalizzati, realizzando sistemi custom focalizzati allo studio ed alla presentazione al grande pubblico.



Referente Paolo Cignoni (paolo.cignoni@isti.cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Fotocamere e strumenti per fotogrammetria

DETTAGLI TECNICI:

Set di strumenti dedicati al rilevamento fotogrammetrico in ambito archeologico (siti archeologici, contesti ipogei e edilizia storica) e collezioni museali (statue, ceramiche, ecc).

2 Fotocamere Canon Eos R

Fotocamere mirrorless con sensore in formato full frame di tipo CMOS 36 x 24 mm da 30,3 megapixel che permette di riprendere immagini ad altissima definizione e grande dettaglio. Messa a fuoco con sistema di rilevamento della differenza di fase con sensore immagine (Dual Pixel CMOS AF) e sensibilità da EV -6 a 18 (ISO100). Misurazione dell'esposizione in tempo reale a 384 zone con sensore immagine. Otturatore con piano focale controllato elettronicamente con velocità 30 - 1/8.000 sec (incrementi di 1/2 o 1/3 di stop) Posa/Bulb. Possibilità di riprese video MP4: 4K (16:9) 3840 x 2160, Full HD, HD; Bitrate (medio) variabile MPEG4 AVC/H.264, Audio: AAC/PCM lineare

Obiettivi disponibili:

- 2 Obiettivi Canon RF 35/1.8 macro IS STM
- 2 Obiettivi Canon RF 50/1.8 STM
- 2 Obiettivi Canon EF 24/1.4 L II USM
- 1 Obiettivo Canon RF 85/2 Macro IS
- 1 Obiettivo Canon RF 27-70 2.8 L IS USM
- 1 Anello Canon adattatore EF-RF

Accessori:

- 2 Treppiedi Manfrotto MT290XTC3 con testa MH804-3W 3 MOV con RC2
- 1 Giraffa Manfrotto 024B Light Boom 25
- 2 Zaino LowePro M-Trekker BP150
- 1 Testa Panoramica Manfrotto X VR MHPANOVVR
- 1 Flash Profoto A10 Canon

2 Kit Flash Profoto B1X Location

Flash per esterni senza fili con scatto remoto o manuale. Il flash è dotato di un'elevatissima intensità luminosa con 500 Ws di potenza regolabili. La batteria agli ioni di litio consente oltre 300 flash alla massima potenza.

Accessori:

- 4 Stativi Manfrotto 1052BAC Compact
- 1 comando Profoto Connect Pro Canon
- 4 Anelli Profoto 100501 RFI Speedring
- 4 Softbox Profoto 254704 RFI 3x4'

4 Kit illuminatori Lupo Actionpanel dual color

Illuminatori a Led per interni compatti, dimmerabili da 0 a 100% con funzionamento senza sfarfallio e dotati di controllo della temperatura colore variabile da 3200 a 5600K. L' alimentazione può avvenire sia con rete elettrica oppure tramite batteria per utilizzo in aree prive di elettricità.

Accessori:

- 4 Stativi Manfrotto 1052BAC Compact
- 4 batterie Lupo con piastra di supporto

Referenti:

Daniele Ferdani daniele.ferdani@cnr.it

Andrea Angelini andrea.angelini@cnr.it

Set di strumenti dedicati alla fotogrammetria e all'annotazione architettonica utilizzando immagini equirettangolari (panorama 360).

Insta 360 Pro 2

Strumento dedicato all'acquisizione di video e foto sferiche HDR.

La risoluzione a 4K delle immagini finali deriva dalla fusione dei 6 scatti effettuati in maniera sincrona ottenuti da un pari numero di camere grandangolari disposti polarmente intorno l'asse del dispositivo.

La camera è provvista della tecnologia Farsight che permette la visualizzazione dei contenuti in fase di ripresa mediante un sistema ad alta definizione, bassa latenza dello stream video ed ottimizza la preview a distanza. Il dispositivo Farsight si compone di Trasmettitore e Ricevitore per il controllo della camera ad una distanza limite di 300 metri.

Risoluzione 360 foto: Massimo 7680 x 3840 (8K) (stitching in tempo reale o stitching in post-elaborazione)

Video 360: Massimo 3840 x 1920 a 30 fps (4K) (stitching in tempo reale/live streaming), massimo 7680 x 3840 a 30 fps (8K) (stitching in post-processing)

Foto 360 3D: Massimo a 7680 x 7680 (8K) (stitching in tempo reale o stitching in post-elaborazione)

Video 360 3D: Massimo 3840 x 3840 a 24 fps (4K) (stitching in tempo reale/live streaming), massimo 6400 x 6400 a 30 fps (6K) (stitching in post-processing)

Obiettivi 6 x f/2,4, fisheye da 200°

Live Streaming Fino a 3840 x 3840 (4K) a 24 fps in codifica video H.264; 3840 x 1920 (4K) a 30 fps in codifica video H.265/H.264

Tipo di file MP4, JPG, RAW

Materiale Lega di alluminio, policarbonato

Acquisizione audio 4 microfoni incorporati, 1 ingresso microfonico AUX

Interfaccia 1 x Micro-HDMI 2.0 (monitoraggio e uscita)

1 x RJ45 (comunicazione via cavo)

1 x USB Tipo-C (trasferimento file)

Wi-Fi Sì (per connessione hotspot AP)

Memoria Slot per scheda SD

Alimentazione Batteria rimovibile da 5000 mAh inclusa (autonomia di 75 minuti); adattatore di alimentazione da 12 VDC, 5A incluso

Dimensioni Diametro 5,6" (143 mm)

Peso 1,2 kg (2,7 Kg)

Canon EOS R5 con Testa Panoramica e Trepiede Manfrotto

Fotocamera mirrorless full frame equipaggiata con testa panoramica manuale e treppiedi per la produzione di panorami sferici ad altissima risoluzione.

Sensore: CMOS (36 x 24 mm) da 45Mp (rapporto visualizzazione 3:2)

Processore: DIGIC X

Mirino: EVF OLED a colori da 0,50", 5.76 Milioni di punti, Copertura (verticale/orizzontale) 100%, Ingrandimenti 0,76x

Display: Clear View LCD II da 8 cm (3,15"), 2,1 milioni di punti, ruotabile di circa 170° in verticale e orizzontale, copertura 100%

Sistema AutoFocus: Dual Pixel CMOS AF (1053 aree)

Range ISO: Auto 100-51.200 (con incrementi di 1/3 di stop o 1 stop), espandibile fino a 50-102.400

Tempo di scatto: 30" – 1/8000

Scatto continuo: 20Fps con otturatore elettronico, 12Fps con otturatore meccanico

Modalità video: Registrazione video interna da 8 K fino a 29,97Fps (senza crop) in Canon Log 4:2:2 a10 bit (H.265) o PQ HDR 4:2:2 a 10 bit (H.265) oppure 4K fino a 119,88Fps (senza crop) in Canon Log 4:2:2 a 10 bit (H.265) o PQ HDR 4:2:2 a 10 bit (H.265); Registrazione esterna tramite HDMI 4K 59,94Fps 4:2:2 a 10 bit con Canon Log o PQ HDR 4:2:2 a 10 bit.

Durata massima video: 29 min 59 sec (esclusi filmati con frame rate elevato). Nessun limite 4 GB con scheda exFAT SD formattata.

Interfacce: USB 3.1, LAN Wireless (IEEE802.11 a/b/g/n/ac) (5/2,4 GHz), Bluetooth 4.2, mini HDMI (Tipo D), ingresso linea/microfono esterno (mini jack stereo), jack cuffie (jack mini stereo), terminale N3 per telecomando, presa sincronizzazione Flash.

Flash incorporato: No

Memoria: doppio slot (1x CFexpress, 1x SD UHS II)

Batteria: agli ioni di litio ricaricabile LP-E6NH (con LCD circa 480 scatti, con mirino, circa 310 scatti)

Peso: 650 grammi (senza batteria e scheda)

Dimensioni: 138,5 x 97,5 x 88 mm

Obiettivi disponibili:

- Canon RF 24-105 F4.7/7.1 IS STM
- Laowa 11mm F4,5 FF x Canon RF

La qualità dei dati principali (video e foto) a seconda dello strumento utilizzato è adeguata ad un duplice utilizzo:

- annotazioni degli ambienti interni d'architettura mediante la metadattazione di immagini panoramiche;
- applicazioni di fotogrammetria digitale anche ad alta risoluzione sul costruito storico utilizzando le foto prodotte dai dispositivi.

Referente:

Elena Gigliarelli elena.gigliarelli@cnr.it



Camere



Luci / Lights (Flash/Led)



INSTA 360 PRO 2 E SISTEMA FARSIGHT



TESTA PANORAMICA MHPANOVVR



CANON EOS-R5



TREPPIEDE MT190XPRO4

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Simultaneous Localisation And Mapping (SLAM) surveys

INFORMAZIONI GENERALI:

Laser scanner mobile per l'acquisizione di dati 3D (creazione di nuvole di punti) attraverso la tecnica SLAM (Simultaneous Localization And Mapping). Lo strumento permette il rilievo di grandi spazi antropici e naturali, mediante un'acquisizione dinamica lungo un percorso; ciò è possibile grazie alla presenza del sensore IMU (Inertial Measurement Unit) all'interno del dispositivo. Il dispositivo è composto da diverse parti: da un profilometro LiDAR connesso al sistema IMU, per l'acquisizione delle informazioni ed un Data Logger per l'archiviazione ed il pre-processing del dato.

La configurazione propone una camera 360 (Zeb Vision) per l'arricchimento del dato con i valori RGB, mentre il pre-processing del dato all'interno del Data Logger consente una prima visualizzazione della nuvola (RT) su dispositivi mobili (es. smartphone).

La precisione centimetrica (1-2 cm) e la gittata massima di 100 m rendono il dato prodotto particolarmente adatto come base topografica su cui impostare un processo di modellazione 3D (geometrica o HBIM) per l'architettura.

DETTAGLI TECNICI:

GeoSLAM ZEB HORIZON RT

Portata = 100m

Campo visivo = 360° x 270°

Laser = Classe 1 / λ 903nm

Grado di protezione = IP 54

Elaborazione = Post

Supporto per datalogger = Zaino o tracolla

Peso dello scanner = 1,45 kg

Peso del datalogger (batteria inclusa) = 1,4 kg

Punti scanner al secondo = 300.000

No. Numero di sensori = 16

Precisione relativa = Fino a 6 mm**

Risoluzione angolare verticale = 2°

Dimensione del file di dati grezzi = 100-200 MB /minuto

Risoluzione angolare orizzontale = 0,38°

Nuvola di punti colorata* = si

Valore di Intensità = si

*Con ZEB Vision

**Durante l'elaborazione dei dati in GeoSLAM Connect V2



**RILIEVO SLAM DELLA TRIZZANA DELL'EX STABILIMENTO FLORIO A
FAVIGNANA**



GEOSLAM ZEB HORIZON RT CON ZEBVISION

Referente: Elena Gigliarelli elena.gigliarelli@cnr.it

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Stazione Totale

- **Leica TS16 P 3" R1000**
- **GeoMax Zoom 95**

INFORMAZIONI GENERALI:

Da un punto di vista geodetico-topografico la stazione totale è uno strumento di misura impiegato nell'ambito del rilievo topografico per posizionare punti della superficie fisica della Terra, determinandone le coordinate.

La stazione totale è dotata di un sensore che consente di misurare angoli e distanze di una serie di punti e di determinarne l'esatta collocazione spaziale rispetto a un sistema di coordinate predefinito. In particolare, la stazione totale in dotazione del MOLAB, la Leica TS16 P 3" R1000, è in grado di adattarsi automaticamente e continuamente alle condizioni del sito, come pioggia, nebbia, polvere, sole, riverbero. Inoltre, dispone di un software proprietario in grado di trasformare dati complessi in pratici e realistici modelli 3D. La stazione totale robotizzata GeoMax Zoom 95, invece, permette l'utilizzo mono-operatore ed è particolarmente adatta al monitoraggio periodico ad altissima precisione di strutture architettoniche.

DETTAGLI TECNICI:

Sistema TPS (1)

Nome modello: **Leica TS16 P 3" R1000**

- Misura angolare: precisione Hz e V – assoluto, continuo, diametrale – 1" (0,3 mgon), 2" (0,6 mgon), 3" (1 mgon), 5" (1,5 mgon)
- Misura distanza:
 - gamma: prisma (GPR1, GPH1P) = da 1,5 m a 3500 m; senza prisma / qualsiasi superficie = R500: da 1,5 m a > 500 m, R1000: da 1,5 m a > 1000 m
 - precisione/tempo di misurazione: singolo (prisma) = 1 mm + 1,5 ppm / tipicamente 2,4 s; singolo (qualsiasi superficie) = 2mm + 2 ppm / tipicamente 3 s
- Software da campo: Leica Captivate con le app Display e tastiera: 5" (pollici), WVGA, colore, touch, faccia I standard / faccia II opzionale
- Processore: TI OMAP4430 Dual-core ARM® Cortex™ da 1 GHz A9MPCore™; sistema operativo Windows EC7
- Gestione energetica: batteria sostituibile agli ioni di litio; tempo di funzionamento 5-8 ore
- Archivio dati: memoria interna = 2GB; scheda di memoria = scheda SD da 1 GB o 8GB
- Interfacce: RS232, USB, Bluetooth®, Wi-Fi
- Specifiche ambientali: intervallo di temperatura di lavoro = da -20°C a +50°C; polvere/acqua (IEC 60529)/umidità = IP55 / 95%, senza condensa.

Referente:

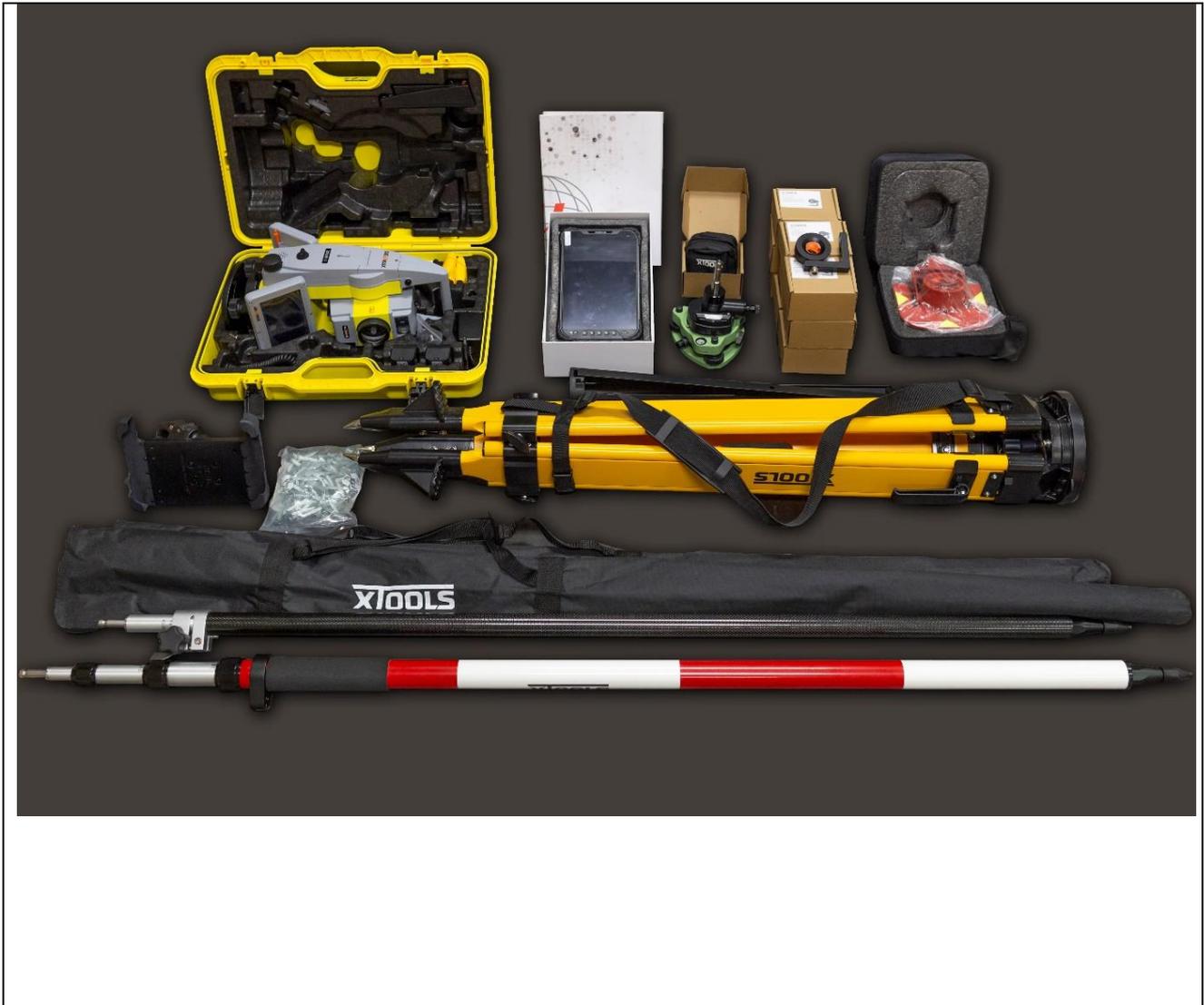
Giuseppe Scardozi: giuseppe.scardozi@cnr.it



Sistema TPS (2)

Nome modello: **GeoMax Zoom 95**

- Misura angolare: precisione angolare 1" (0.3 mgon)
- Misura distanza:
 - Prisma: 1mm + 1.5 ppm a 3.500m modalità "Standard" e a10.000m in modalità "Long"
 - Senza Prisma – EDM: 2mm + 2ppm a 1000 m
- Tempo di misura: 2-6 secondi
- Software da campo: X-PAD Ultimate survey TPS
- Sistema operativo Microsoft® Windows® EC 7.0
- Gestione energetica: batteria sostituibile agli ioni di litio 4.4 Ah/7.4 Volt,; tempo di funzionamento 8 ore
- Archivio dati: memoria interna = 2GB; scheda di memoria = scheda SD removibile 1GB
- Interfacce: USB, Bluetooth®, Wi-Fi, WLAN
- Display: WVGA 800x480 da 5 pollici, a colori e touch-screen con retroilluminazione
- Specifiche ambientali: intervallo di temperatura di lavoro = da - 20°C a + 50°C; IP55



Referenti:

Daniele Ferdani: daniele.ferdani@cnr.it
Andrea Angelini: andrea.angelini@cnr.it

REMOTE SENSING AND GEOPHYSICS ANALYSES

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Gradiometro fluxgate Bartington 601

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo strumento gradiometro disponibile nel MOLAB è utilizzato per le indagini in situ essendo estremamente maneggevole, veloce e completamente non invasivo. Lo scopo di un rilievo di tipo magnetico è quello di investigare la struttura del sottosuolo sulla base delle anomalie del campo magnetico terrestre prodotte dalle differenti proprietà magnetiche dei materiali presenti nel sottosuolo. Il campo magnetico che si può misurare sulla superficie terrestre varia in modo sensibile in funzione dello spazio e del tempo. Vengono quindi misurati valori numerici riferiti ad una precisa coordinata spaziale. Senza tale riferimento, un gruppo di valori non ha alcun significato. Lo strumento viene normalmente spostato lungo linee di misura equidistanti, note come traverse, separate da una distanza fissa, Δy . Il dato viene acquisito sopra tali traverse a specifici intervalli di campionamento, Δx . Si definisce gradiometro uno strumento mediante il quale si campiona il valore del gradiente del campo magnetico, dB/dz. Il gradiometro non è altro che un magnetometro differenziale, ovvero è dotato di due sensori separati da una distanza fissa e piccola rispetto alla distanza delle sorgente di cui si vuole misurare il gradiente. Per operare in questa configurazione i due sensori devono procedere al campionamento di B simultaneamente.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento gradiometro fluxgate portatile è il Bartington 601 dotato di 4 sensori fluxgate che consentono di acquisire il gradiente magnetico contemporaneamente su due linee distanziate di un metro.



Figura: sistema gradiometro fluxgate con esempio di risultato.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2007, Ground Penetrating Radar: Un'introduzione per gli Archeologi; Aracne Editrice, Roma; ISBN: 978-88-548-0951-2.
- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6
- Leucci G., 2020, Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Georesistivimetro ARES II - 10-canali attivi a 96 canali

INFORMAZIONI GENERALI:

ARES II è un sistema avanzato di misura 3D di resistività e polarizzazione indotta consente di collegare 96 elettrodi con 10 canali attivi contemporaneamente. Questo consente di diminuire i tempi di acquisizione dei dati. E' così possibile la ricostruzione 3D delle strutture sepolte a diversi metri di profondità.

DETTAGLI TECNICI:

Dotato di ricevitore a 10 canali consente in modo veloce tutti i tipi di rilevamento geofisico. ARES II mantiene la compatibilità con tutti gli accessori multielettrodo. Un'unità robusta e resistente alle intemperie integra il trasmettitore con il ricevitore e l'unità di controllo completa di un ricco supporto software per molti metodi di misurazione



Figura: ARES II - 10-CANALI

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6
- Leucci G., 2020, Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3
- Giannino F., Leucci G., 2021. Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM. Wiley, pp 352, ISBN: 978-1-119-77098-5

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Georadar structure scan

INFORMAZIONI GENERALI:

Structure Scan Mini è un sistema GPR all-in-one per applicazioni su beni monumentali e infrastrutture. Questo sistema portatile consente di localizzare armature, condotti, cavi di post-tensione, vuoti, crepe e lo stato di conservazione. Inoltre, può essere utilizzato per determinare lo spessore della lastra di cemento in tempo reale.

DETTAGLI TECNICI:

Il georadar mini è dotato di un'antenna da 2,7 GHz.



Figura: georadar structurescan

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2007, Ground Penetrating Radar: Un'introduzione per gli Archeologi; Aracne Editrice, Roma; ISBN: 978-88-548-0951-2.
- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6
- Leucci G., 2020, Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3
- Giannino F., Leucci G., 2021. Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM. Wiley, pp 352, ISBN: 978-1-119-77098-5

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO – CNR ISPC

NOME STRUMENTO

Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)

INFORMAZIONI GENERALI:

Da un punto di vista geodetico-topografico il GPS, o meglio il GNSS (Global Navigation Satellite System), è uno strumento di misura che impiegato nell'ambito del rilievo topografico per posizionare punti della superficie fisica della Terra, determinandone le coordinate-.

Il GPS è un misuratore delle componenti di un vettore nello spazio tridimensionale (vettore che congiunge due punti della superficie fisica della Terra), da cui è possibile ricavarne l'orientamento e la lunghezza. È composto da un sistema di strumenti (2 ricevitori satellitari, uno configurato come base e l'altro come rover, e di un controller) che fornisce un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura globale, consentendo di determinare le coordinate geografiche su un qualunque punto della superficie terrestre. Il MOLAB dispone di due differenti modelli di GNSS: il Leica GS18T e il GeoMax Zenith60 LTE-UHF.

DETTAGLI TECNICI:

Sistema GNSS (1)

- Nome modello: Leica GS18T
- GNSS dotato di autoapprendimento: Leica RTKplus = selezione autonoma dei satelliti per adattarsi ad ogni condizione, SmartLink (servizio di correzione in tutto il mondo) = posizionamento preciso in zone remote (3 cm 2D) da una convergenza iniziale alla precisione totale nell'arco di 20 - 40 min;
SmartLink fill (servizio di correzione in tutto il mondo) = fino a 10 minuti di copertura delle interruzioni RTK (3 cm 2D)
- Leica SmartCheck: controllo continuo della soluzione RTK, affidabilità al 99,99%
- Tracciamento del segnale: GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2, L32), BeiDou (B1, B2, B32), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC, E62), QZSS (L1, L2, L5, LEX2), NavIC L53, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), L-band
- Prestazioni di misura e precisioni: base singola = orizz.: 8 mm + 1 ppm / vert.: 15 mm + 1 ppm; rete RTK = orizz.: 8 mm + 0,5 ppm / vert.: 15 mm + 0,5 ppm
- Controller e software: Leica Captivate, controller Leica CS20, tablet Leica CS35
- Registrazione dati: memoria flash = scheda SD rimovibile (8 GB); tipo dati e velocità di registrazione = dati grezzi GNSS Leica e dati RINEX fino a 20 Hz
- Alimentazione: alimentazione interna = batterie Li-Ion ricaricabili e removibili (2,8 Ah / 11.1 V); alimentazione esterna = nominale 12 V CC - intervallo ammesso 10,5 – 28 V CC; durata = 7 ore di ricezione (Rx) dei dati con la radio interna, 5 ore di trasmissione (Tx) dei dati con la radio interna, 6 ore di ricezione/trasmissione dei dati con il modem del telefono interno



Sistema GNSS (2)

- Nome modello: GeoMax Zenith60 LTE-UHF

- Affidabilità del ricevitore: 99,99%
- Precisione e prestazioni del ricevitore: RTK = orizz.: 8 mm + 1 ppm / vert.: 15 mm + 1 ppm; rete RTK Network = orizz.: 8 mm + 0,5 ppm / vert.: 15 mm + 0,5 ppm affidabilità al 99,99%
- Tracciamento del segnale: GPS (L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5), Glonass (L1 C/A, L2 C/A, L2P, L3), BeiDou (B1I, B1C, B2I, B2a, B2b, B3), Galileo (E1, E5a, E5b, AltBOC, E6), QZSS (L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6), NavIC L53, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), L-band
- Registrazione dati: doppia; scheda microSD removibile e memoria interna da 8 GB
- Alimentazione interna: due batterie interne = agli ioni di litio da 3,4 Ah / 7,2 V, sostituibili a caldo; alimentazione esterna: da 9 V a 28 V, connettore LEMO®; durata: 12,5 h in modalità statica / 11 h in modalità rover



Referente: Giuseppe Scardozzi (giuseppe.scardozzi@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Georadar Ris Hi-Mod, IDS System

INFORMAZIONI GENERALI:

Lo strumento georadar disponibile nel MOLAB è utilizzato per le indagini in situ essendo estremamente maneggevole, veloce e completamente non invasivo. Il metodo georadar (conosciuto anche con il nome anglosassone Ground Penetrating Radar – GPR) è una tecnica ad elevata risoluzione che consente di raccogliere una grande quantità di informazioni su vaste aree nei primi metri del sottosuolo, riferibili alla presenza di corpi sepolti, cavità, strutture di interesse archeologico, stratificazioni del sottosuolo, ecc. Un apparato radar strumentale opera mediante la generazione di onde impulsive ad elevata frequenza (tipicamente tra 10 MHz a qualche GHz), che vengono trasmesse nel sottosuolo mediante un’opportuna “antenna trasmittente” disposta sulla superficie del terreno. Il segnale elettromagnetico si propaga nel mezzo e subisce delle riflessioni se incontra un mezzo con discontinuità dei parametri elettromagnetici. L’onda riflessa che torna in superficie viene registrata da una “antenna ricevente”. Il segnale captato viene poi trasmesso all’unità di controllo che provvede ad amplificarlo e registrarlo in formato digitale. La possibilità di utilizzare le altre frequenze e quindi una alta risoluzione rende la tecnica applicabile anche su strutture legate al patrimonio culturale costruito e non solo.

DETTAGLI TECNICI:

Lo strumento georadar portatile è dotato di un sistema di controllo, una serie di antenne con frequenze 200MHz, 600MHz, 900MHz e 2000MHz.

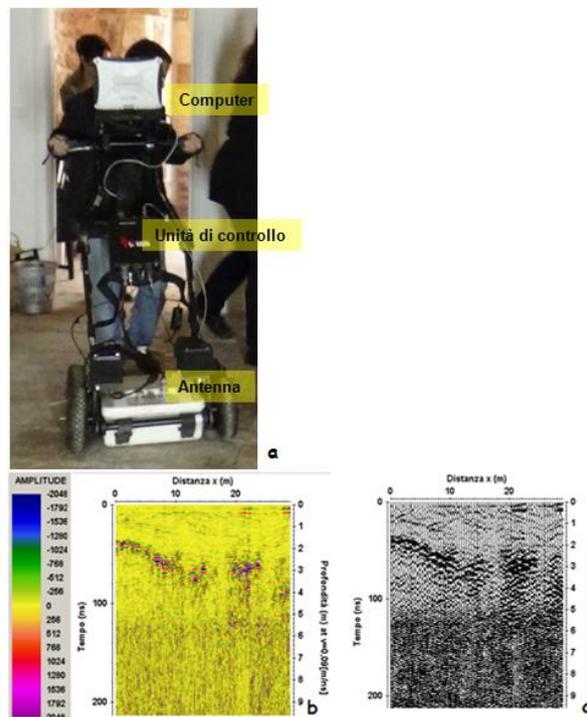


Figura: sistema georadar con esempi di sezione radar.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2007, Ground Penetrating Radar: Un'introduzione per gli Archeologi; Aracne Editrice, Roma; ISBN: 978-88-548-0951-2.
- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6
- Leucci G., 2020, Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME DELLO STRUMENTO

Gem 35 gradiometro magnetico agli atomi di potassio con GPS

INFORMAZIONI GENERALI

Lo strumento gradiometro disponibile in MOLAB è utilizzato per molteplici applicazioni perché estremamente maneggevole, veloce e assolutamente non invasivo. Lo scopo di un'indagine magnetica è quello di indagare la struttura del sottosuolo sulla base delle anomalie del campo magnetico terrestre prodotte dalle diverse proprietà magnetiche dei materiali presenti nel sottosuolo. Il campo magnetico misurabile sulla superficie terrestre varia notevolmente in funzione dello spazio e del tempo. I valori numerici vengono quindi misurati facendo riferimento a una precisa coordinata spaziale. Senza un tale riferimento, un gruppo di valori non ha significato. Lo strumento viene normalmente spostato lungo linee di misura equidistanti, note come traverse, separate da una distanza fissa, Δy . I dati vengono acquisiti sopra queste traverse a specifici intervalli di campionamento, Δx . Un gradiometro è definito come uno strumento mediante il quale viene campionato il valore del gradiente del campo magnetico, dB/dz. Il gradiometro non è altro che un magnetometro differenziale, cioè è dotato di due sensori separati da una distanza fissa e piccola rispetto alla distanza della sorgente di cui si vuole misurare il gradiente. Per operare in questa configurazione, i due sensori devono procedere contemporaneamente al campionamento di B.

DETTAGLI TECNICI

L'elevata qualità dei dati è garantita dall'altissima sensibilità del magnetometro GSMP-35 (0,0002 nT a 1 Hz). L'ultra-sensibilità dà la sicurezza di rilevare e caratterizzare oggetti nascosti con precisione e sicurezza. È una nuova era nella magnetometria con il GSMP.



Figura: magnetometro Gem 35

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6

•Leucci G., 2020, *Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies*. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Georadar Stream C, IDS System

INFORMAZIONI GENERALI:

Il georadar Stream C è la soluzione ad array compatta per mappature 3D e in tempo reale del sottosuolo. Grazie all'aumentato livello di precisione, fornito da un'ampia serie di antenne, è in grado di rilevare automaticamente le strutture presenti nel sottosuolo.

Le indagini devono essere eseguite in una sola direzione per garantire un rilievo ottimale sia longitudinale che trasversale delle strutture sepolte.

Il sistema può essere trainato manualmente o con un piccolo veicolo, aumentando la velocità di acquisizione (fino a 6 km / h).

DETTAGLI TECNICI:

Lo Stream C è equipaggiato con 32 antenne a doppia polarizzazione e a frequenza di 600MHz.



Figura: georadar stream C

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2007, Ground Penetrating Radar: Un'introduzione per gli Archeologi; Aracne Editrice, Roma; ISBN: 978-88-548-0951-2.
- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6
- Leucci G., 2020, Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3
- Giannino F., Leucci G., 2021. Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM. Wiley, pp 352, ISBN: 978-1-119-77098-5

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

CMD – conduttivimetro elettromagnetico

INFORMAZIONI GENERALI:

Il misuratore di conducibilità elettromagnetica CMD Explorer è progettato per intervalli di profondità di rilevamento che vanno da 1,1m a 6,7 m. Il sistema utilizza un metodo, che evita il contatto con il suolo, che consente misurazioni rapide di conducibilità e in fase in tutte le condizioni di campagna (incluso terreno molto secco e ghiacciato). La sonda Explorer è dotata di 3 ricevitori con eccellente stabilità di temperatura. In questo modo è possibile ottenere una mappatura graduata in profondità ad alta risoluzione e l'immagine di sezioni, utili per un'ampia gamma di applicazioni.

DETTAGLI TECNICI:

Profilatura e mappatura *multi-profondità* (1,1 – 6,7 m), campionamento rapido (fino a 10 Hz), elevata stabilità della temperatura. Modalità di misurazione manuale e continua con GPS. Due canali Bluetooth (per sonda e GPS esterno). Orologio in tempo reale, anteprima della mappa della copertura dell'area



Figura: conduttivimetro elettromagnetico.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

- Leucci G., 2015, Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp. 368. ISBN: 9788857905068
- Leucci G., 2019, Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A practical guide and new perspective. Springer editore pp 217, ISBN 978-3-030-01898-6

- Leucci G., 2020, *Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations: New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies*. Springer editore, pp 200, ISBN 978-3-030-46241-3
- Giannino F., Leucci G., 2021. *Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM*. Wiley, pp 352, ISBN: 978-1-119-77098-5

Referente: Giovanni Leucci (giovanni.leucci@cnr.it)

LABORATORIO – CNR ISPC

NOME SERVIZIO

Ricerca, elaborazione e interpretazione archeologica di dati telerilevati d'archivio: foto aeree, foto cosmiche e immagini satellitari ottiche

INFORMAZIONI GENERALI:

Con questo servizio il MOLAB offre la possibilità di disporre dei risultati ottenuti dalla ricerca, dall'acquisizione, dal processing e dalla fotointerpretazione archeologica dei dati telerilevati disponibili relativi a un qualsiasi sito in corso di studio. Questi dati rappresentano un incredibile contenitore di informazioni dirette e uno strumento utile all'individuazione di "tracce" che rivelano la presenza di elementi archeologici o paleo-ambientali non visibili o difficilmente rintracciabili con la sola indagine sul terreno; inoltre, i dati storici possono consentire l'identificazione di elementi della superficie terrestre, di natura archeologica, oggi non più visibili, perduti o scarsamente conservati a causa delle rapide trasformazioni territoriali che hanno stravolto l'aspetto originario del paesaggio storico.

I dati telerilevati d'archivio che potranno essere recuperati, elaborati e interpretati per finalità archeologica sono: fotografie aeree storiche (1930-1990); fotografie cosmiche degli anni Sessanta e Settanta del Novecento (immagini Corona KH-4A e KH-4B, Gambit KH-7 ed Hexagon KH-9); immagini satellitari ottiche ad alta risoluzione delle più recenti piattaforme in orbita, che offrono dati multispettrali e pancromatici con un dettaglio massimo di 30 cm. Questi ultimi dati potranno essere anche oggetto di processing basato sulle più recenti metodologie di telerilevamento applicato all'archeologia e sull'utilizzo di software specifici, con l'applicazione di varie tecniche di *enhancement* che consentono di enfatizzare eventuali anomalie e tracce archeologiche riferibili a strutture antiche sepolte o semi-affioranti, oppure a evidenze paleo-ambientali.

Il servizio offerto dal MOLAB comprende anche il riscontro a terra delle tracce e delle anomalie riscontrate nel corso della fotointerpretazione archeologica, con eventuale georeferenziazione delle stesse.

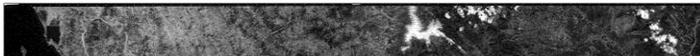
DETTAGLI TECNICI:

DATASET

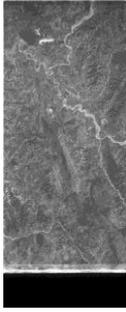
Foto aeree storiche: immagini in bianco e nero o a colori, con negativi su lastre di vetro o pellicola

Foto cosmiche:

- Missioni Corona KH-4A e KH-4B (risoluzione: 1,8-2,7 m)



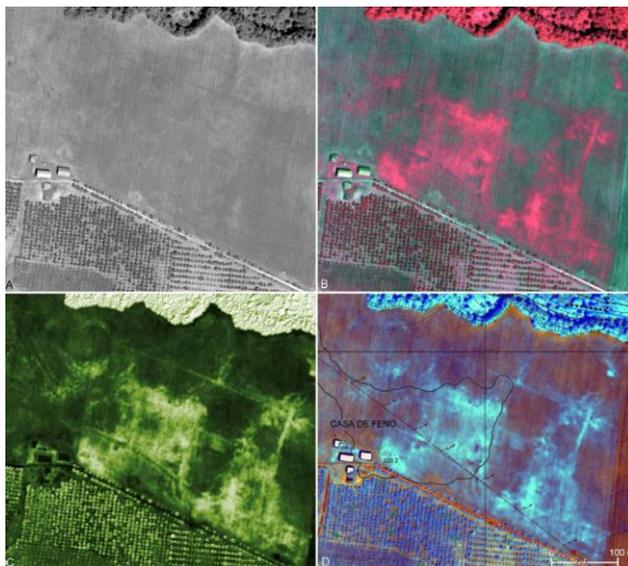
- Missioni Gambit KH-9 (risoluzione: 0,6-1,2 m)



- Missioni Hexagon KH-9 (risoluzione: 0,6-1,2 m)



Immagini satellitari ottiche ad alta risoluzione (per esempio, dati QuickBird-2, GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-3, WorldView-4, Pléiades1A/1B, Pléiades Neo, ecc.)



Esempio di processing di un'immagine WorldView-2, in cui sono evidenziate tracce da vegetazione relative alla presenza di strutture antiche sepolte.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

M.J.F. FOWLER, *Declassified Intelligence Satellite Photographs*, in W.S. HANSON, I. OLTEAN (eds.), *Archaeology from historical aerial and satellite archives*, London 2013, pp. 47-66.

M.J.F. FOWLER, *The archaeological potential of declassified HEXAGON KH-9 panoramic camera satellite photographs*, in *AARGnews*, 53, 2016, pp. 30-36.

M. GUAITOLI, *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio (catalogo della mostra)*, Roma 2003.

I. MICCOLI, *Applicazioni GIS e di remote sensing satellitare per la conoscenza e il monitoraggio dell'area urbana di Falerii Novi e del territorio circostante*, in *Archeologia e Calcolatori* 33.2, 2022, pp. 175-196.

- F. PICCARRETA, G. CERAUDO *Manuale di aerofotografia archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni*, Bari 2000.
- G. SCARDOZZI, *Il limes orientale tra Siria ed Iraq. Dalle fotografie aeree di Padre Antoine Poidebard e Sir Aurel Stein alle immagini satellitari "storiche" e recenti* – *Archeologia Aerea* 8, Numero monografico, 2014, pp. 27-42.
- G. SCARDOZZI, *Gli archivi digitali di fotografie aeree e immagini satellitari per l'osservazione della Terra. Stato dell'arte e prospettive per l'uso dei dataset finalizzato alla ricerca archeologica*, in P. RONZINO (a cura di), *Proceedings del Workshop L'integrazione dei dati archeologici digitali - Esperienze e prospettive in Italia 2015 Lecce, Italia, 1-2 Ottobre, 2015*, Firenze 2016, pp. 80-88.
- G. SCARDOZZI, *An introduction to satellite remote sensing in archaeology: state of art, methods and applications*, in F. BOSCHI (a cura di), *Looking to the future, caring for the past. Preventive archaeology in theory and practice. Proceedings of the 2013-2014 Erasmus IP Summer Schools in Preventive Archaeology: evaluating sites and landscapes. Methods and techniques for evaluating the archaeological value*, Bologna 2016, pp. 217-239.

Referente: Giuseppe Scardozzi (giuseppe.scardozzi@cnr.it)

LABORATORIO: AIRLAB – CNR ISPC

NOME STRUMENTO

Sistema LiDAR su drone

INFORMAZIONI GENERALI:

Il sistema è costituito da un laser scanner con tecnologia full waveform veicolato da un drone esacottero, gestito da remoto con radiocomando. È pensata per applicazioni nel campo della prospezione archeologica, della documentazione di beni culturali quali siti archeologici, monumenti d'architettura, il rilievo di dettaglio e lo studio di contesti paesaggistici, con particolare riferimento ad aree coperte dalla vegetazione. Rispetto ad altri sistemi di telerilevamento basati su sensori passivi (VNIR, IRT), grazie alla possibilità di penetrare all'interno della vegetazione, filtrandola, consente individuare siti di interesse archeologico o resti archeologici in aree densamente boscate, incluso foreste tropicali.

In aree non vegetate o scarsamente vegetate il valore aggiunto del LiDAR rispetto a sensori ottici è dato dalla possibilità di ottenere dettagliati modelli digitali del terreno, ad uso cartografico, per lo studio della geomorfologia e l'analisi della microtopografia da cui estrarre informazioni di interesse archeologico.

Il sistema può essere impiegato per la realizzazione di modelli 3d di paesaggi, complessi monumentali, siti archeologici, finalizzati alla conoscenza, la conservazione, la valorizzazione, la valutazione dei rischi con particolare riferimento a frane, attività di scavo clandestino.

Un uso ottimale del sistema è quello di integrarlo con altri dati telerilevati acquisiti da sensori attivi e passivi su piattaforma aerea e satellitare per applicazioni multi-scala e multi-sensore.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema è costituito da un drone esacottero equipaggiato di un laser scanner con tecnologia full waveform,

Di seguito si riportano specifiche tecniche del drone e delle camere.

1_Drone esacottero.

Massima distanza operativa non inferiore a 50 mt ;

Payload non inferiore a : 1,30 kg

Autonomia di volo minima: 34 minuti senza *payload* e 24 minuti con *payload* massimo

2_LiDAR

Accuratezza/ Precisione del sensore = 15mm / 10mm

N.5 echi di ritorno per ogni singolo raggio laser

Tasso di misurazione massimo fino a 100.000 misure/s -> FOV fino a 360°

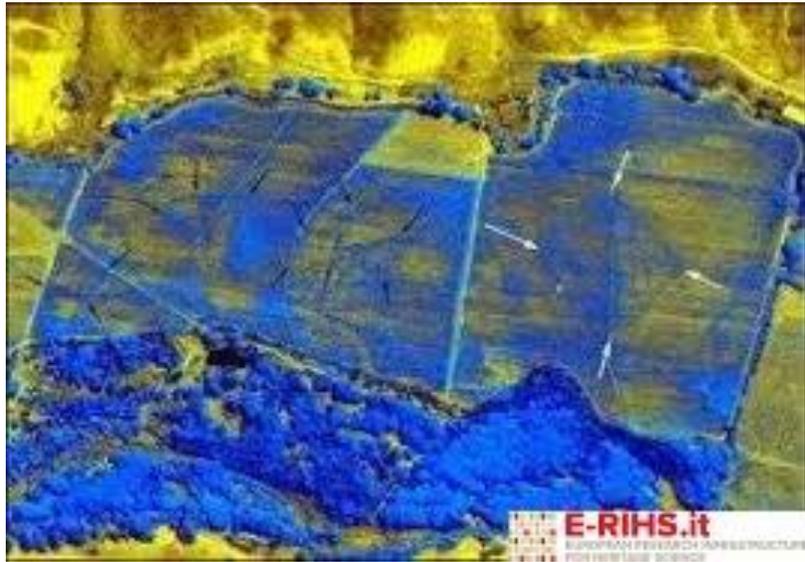
Max range - target reflectance 60% = 250m

Max range - target reflectance 20% = 150m

Minimum range = 3m

Piattaforma inerziale IMU APPLANIX APX15

Camera fotografica con ottica da 16 mm(comprese).



Referente: Nicola Masini (nicola.masini@cnr.it)

LABORATORIO: AIRLAB – CNR ISPC

NOME STRUMENTO

Piattaforma multisensore VNIR+IRT su drone

INFORMAZIONI GENERALI:

Si tratta di una piattaforma multisensore veicolata da un drone quadricottero e costituito da una camera multispettrale che acquisisce 4 bande dello spettro del visibile fino al vicino infrarosso (VNIR), una camera termica (IRT) e una fotocamera RGB. La strumentazione integrata al velivolo e gestita da remoto con un unico radiocomando, è pensata per applicazioni nel campo della prospezione archeologica. Attraverso l'integrazione e la fusione di dati acquisiti con le camere VNIR e IRT è possibile individuare, georeferenziare e inserire in mappa *proxy indicator*, quali modifiche di umidità (*damp-marks*), variazioni della crescita della vegetazione (*crop-marks*) e della presenza di materiali organici in superficie, riferibili alla presenza di strutture interrate e trasformazioni alla scala del sito e del paesaggio di interesse culturale. I modelli digitali che si potranno ottenere elaborando con algoritmi di *structure from motion* le immagini acquisite con la camera RGB consentiranno di realizzare dettagliate cartografie e ortofoto e, attraverso post elaborazioni basate con tecniche di visualizzazione, individuare variazioni microtopografiche di interesse archeologico.

Il sistema è adatto a documentare e rilevare contesti archeologici, le fasi di scavo e superfici architettoniche. A quest'ultimo riguardo la possibilità di acquisire con il drone immagini termografiche a distanza ravvicinata potrà essere sfruttata, ad integrazione di immagini termografiche acquisite da terra, per il rilievo di patologie di degrado e forme di alterazione quali distacchi di intonaco, patine, depositi, e la presenza di modifiche costruttive delle strutture murarie retrostanti.

Un uso ottimale del sistema è quello di integrarlo con altri dati telerilevati su piattaforma aerea e satellitare per applicazioni multiscala e multi sensore.

DETTAGLI TECNICI:

Il sistema multisensore è costituito da un drone quadricottero equipaggiato di una termocamera 30Hz radiometrica amovibile con aggancio-sgancio rapido con fotocamera ottica integrabile installabile sul drone, una camera multispettrale VIS-NIR, una fotocamera digitale RGB. L'acquisizione potrà avvenire con configurazione flessibile, una o due camere insieme ovvero, solo camera RGB, camera RGB con multispettrale, camera RGB con camera termica

Di seguito si riportano specifiche tecniche del drone e delle camere.

1_Drone quadricottero.

Massima distanza operativa non inferiore a 50 mt ;

Payload non inferiore a : 1,30 kg

Autonomia di volo minima: 34 minuti senza *payload* e 24 minuti con *payload* massimo

2_Camera multispettrale

Bande spettrali di acquisizione: Blue (446nm), Green (548nm), Red (650nm), Red Edge (720nm), NIR (840nm)

Configurazione sensore: 12,3MP BSI CMOS

Field of view: 60° HFOV (4K Stills / Video) 1080p ranges 30° - 60° HFOV

Peso massimo di 400gr, global shutter con velocità di acquisizione sino a 0.1millisec

Supporto gimbal brushless a 3 assi: Tilt: 0° to -90°, Pan 0°; Roll 0° Mechanical Range: Tilt: +25° to -115°, Pan 0°; Roll +40° Max Controllable Speed: 50°/S

3_Termocamera

Frequenza 30Hz

Risoluzione 640 x 512 pixel

Ottica (13mm)

Supporto gimbal brushless a 3 assi

4_Fotocamera digitale micro quattro terzi

20.8 Mp, obiettivo MFT 15mm/1.7 ASPH comprensivo di registrazione video 4K, supporto gimbal brushless a 3 assi



MAGGIORI INFORMAZIONI

N. Masini, R. Lasaponara (2020). Satellite and close range analysis for the surveillance and knowledge improvement of the Nasca geoglyphs. *Remote sensing of environment*. Volume 236, January 2020, 111447

Masini N., Marzo C., Manzari P., Belmonte A., Sabia C., Lasaponara R. (2018). On the characterization of temporal and spatial patterns of archaeological crop-marks. *Journal of Cultural Heritage*, doi: 10.1016/j.culher.2017.12.009

Referente: Nicola Masini (nicola.masini@cnr.it)

ENERGY AND ENVIRONMENTAL ANALYSES

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

IR Thermography (HD, drone)

INFORMAZIONI GENERALI:

Termocamere T1020 28° FLIR e FLIR VUE PRO R, 640.

Termocamera HD (1) e termocamera per droni (2) per analisi termografica interna ed esterna di architetture storiche ai fini del loro miglioramento energetico ambientale.

Drone DJI M30T per termografie UAS

Il drone M30 integra sensori ad alte prestazioni e dotati di radiocomando quali telecamere grandangolari, zoom e termiche con un telemetro laser. L'M30 ha un grado di protezione IP55, che lo rende ideale per le missioni in ambienti difficili (compreso tempo umido e vento fino a 12 m/s), con telecamera migliorata per condizioni di scarsa luminosità.

L'analisi con questi strumenti permette, in integrazione con altre analisi di identificare ponti termici di forma e struttura, indagare l'emissività dei materiali, supportare la classificazione delle tipologie murarie presenti e l'impiego di altre analisi per la caratterizzazione termofisica dei materiali come la termoflussimetria, identificare problemi di posa in opera dei materiali e discontinuità, indagare le prestazioni di vetri e telai (emissività, differenze di resistenza termica, errori di posa, infiltrazioni di aria e acqua), studiare le infiltrazioni di aria e le infiltrazioni risalite o perdite di acqua sull'involucro e la presenza di condensa.

DETTAGLI TECNICI:

1. Termocamera HD T1020 28° FLIR

Termocamera ad infrarossi con risoluzione 1024x768 pixels e sensibilità 0,02°C. Camera equipaggiata con lente 28°x21°, campo di temperatura da -40°C a +2000°C; autofocus assistito continuo; bussola e GPS integrati. Ottiche aggiuntive:

- T1020 IR Lens 12° IR lens f=83.4mm (12°) with case (T10XX)
- T1020 IR Lens 45° IR lens f=21.2mm (45°) with case (for T1020)

La termocamera è dotata di un treppiede Manfrotto professionale.

2. Termocamera per droni FLIR VUE PRO R

640x512 pixels, 19mm, 9Hz FLIR VUE PRO R, 640, 19mm, 9Hz, FOV 32x26

FLIR VUE PRO R Drone thermal imaging Camera, 640x512 pixels, 19mm, 9Hz FLIR VUE PRO R, 640, 19mm, 9Hz, FOV 32x26.

3. Drone DJI M30T

Fotocamera grandangolare: lunghezza focale equivalente: 24 mm, DFOV: 84°; Sensore CMOS da 12 MP 1/2"; Risoluzione video: 4K/30 fps.

Fotocamera con zoom: sensore CMOS da 48 MP 1/2"; Zoom ottico 5x-16x; 200 volte massimo Zoom ibrido; Risoluzione foto: 8K; Risoluzione video: 4K/30 fps.

Termocamera: Lunghezza focale equivalente: 40 mm; Risoluzione: 640x512; Frequenza

fotogrammi: 30 fps; Precisione della misurazione: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$.

Telemetro laser: portata: 3 m - 1200 m; Precisione: $\pm(0,2 \text{ m} + D \times 0,15\%)$.



T1020 28° FLIR con ottiche 12° e 45°, FLIR VUE PRO R, treppiede manfrotto di supporto



T1020 28° FLIR



DRONE DJI M30T



INTERFACCIA DRONE DJI M30T

Referente:

Filippo Calcerano filippo.calcerano@cnr.it

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

IoT Heat Flux Measuring system

INFORMAZIONI GENERALI

Il termoflussimetro HFM F1T3 v.3 NB-IOT misura la trasmittanza in opera delle componenti opache conformemente alla ISO 9869, è completamente wireless e ad altissima risoluzione (24 bit). I dati rilevati risultano particolarmente accurati e affidabili e vengono inviati ed archiviati su SD Card, o trasferiti a qualunque dispositivo dotato di Bluetooth. Ogni modulo è dotato di modem NB-IoT per il controllo da remoto delle misure effettuate, indispensabile per la valutazione del monitoraggio. In totale è possibile misurare 4 punti in contemporanea con 4 termoflussimetri indipendenti.

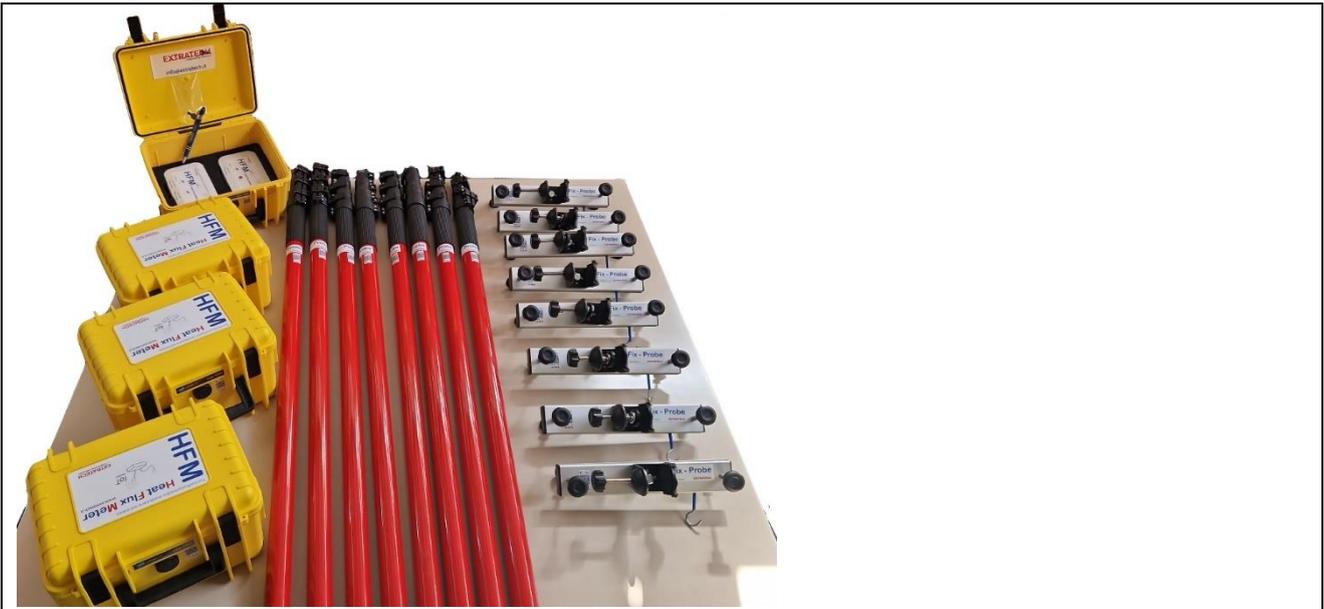
DETTAGLI TECNICI

Ogni termoflussimetro è composto da:

- n°1 Modulo HFM 2 Ch Wireless 868 Mhz, Modem integrato (Standard NB-IOT) alimentato con batteria Tipo C ad alta capacità da 3,6V, Bluetooth Low Energy, Micro-SD card da 8 Gb integrata, comprensivo di n° 1 piastra di flusso e n°1 sonda di temperatura PT1000;
- n°1 Modulo HFM 2 Ch Wireless 868 Mhz, Modem integrato (Standard NB-IOT) alimentato con batteria Tipo C ad alta capacità da 3,6V, Bluetooth Low Energy, Micro-SD card da 8 Gb integrata comprensivo di n° 2 sonde di temperatura PT1000;
- n°1 WMS-Monitor - Sw di gestione con modulo U-Value per il calcolo della trasmittanza in opera ai sensi della ISO 9869 e per la compilazione del report strumentale (S.O. Windows) - Valigia rigida Dimensioni: 270 x 215 x 165 m;
- sistema Fix-Probe per interno ed esterno, composto da 2 aste con fodero e sistema di bracci con pinza spingisonde (adatto anche ad altri termoflussimetri) h max 450cm.



HFM AND SUPPORT SYSTEM



4 HFM IoT

Referente: Filippo Calcerano (filippo.calcerano@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

IoT Indoor Environmental Monitoring system

INFORMAZIONI GENERALI

Impianto di monitoraggio ambientale microclimatico per interni costituito da unità di acquisizione e trasmissione dati (GSM o Wi-Fi), trasduttori di temperatura (termoresistenza Pt100), di umidità relativa dell'aria (condensatore a film sottile con dielettrico in materiale polimerico) e di velocità e direzione dell'aria (ultrasuoni). I dati raccolti attraverso questo impianto di monitoraggio possono essere utilizzati per informare modelli di simulazione usati per la valutazione della performance energetica e ambientale di edifici e per la loro taratura e validazione. L'analisi con questi strumenti permette, inoltre, di caratterizzare le condizioni microclimatiche interne all'edificio e la loro adeguatezza in relazione alle esigenze conservative dei materiali che costituiscono le collezioni culturali e/o l'edificio. Il sistema permette 12 misurazioni contemporanee con lettura e controllo dati da remoto.

DETTAGLI TECNICI

1. **N.1 Unità di acquisizione e trasmissione dati su rete GSM, modello Grillo BEE, a quattro canali per sensori esterni (per la misura all'interno degli armadi e in vicinanza dei reperti)**

Altre caratteristiche:

- Modulo di trasmissione dati su rete Wi-Fi
- Intervallo di acquisizione, elaborazione e memorizzazione dati programmabile tra 10 s e 12 ore
- Intervallo di trasmissione dati programmabile tra 10 m e 24 ore
- Alimentazione: batterie a stilo con autonomia pari a 6 mesi
- Dimensioni: 10 x 6 x 4 cm
- Completa di certificato di calibrazione per confronto con riferimento SIT

2. **N.12 Trasduttori di temperatura e umidità relativa dell'aria EE071, con le seguenti caratteristiche:**

Temperatura dell'aria (in accordo con EN 15758:2010)

- sensore: Termoresistenza Pt1000
- campo di misura: da -40°C a + 80°C.
- accuratezza: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ a 20°C

Umidità relativa (in accordo con EN 16242:2012)

- sensore: condensatore a film sottile con dielettrico in materiale polimerico.
- campo di misura: 0..100% UR.
- accuratezza: $\pm 2\%$ UR (0..90 % UR)
- Dipendenza dalla temperatura $< (0.025 + 0.0003 \times \text{UR}) [\% \text{ UR}/^\circ\text{C}]$

3. **N. 11 Trasduttore di velocità e direzione dell'aria ad ultrasuoni METER ATMOS 22, con le seguenti caratteristiche:**

- Campo di misura velocità: 0.00-30.00 m/s
- Risoluzione: 0.01 m/s
- Precisione: il maggiore tra 0.3 m/s o 3% della misura
- Campo di misura direzione: 0-359 °
- Risoluzione: 1°
- Precisione: $\pm 5^\circ$



EE071, METER ATMOS22, Grillo BEE (MOUNTED SYSTEM)



EE071, METER ATMOS22, Grillo BEE (IEM SENSORS)

Referente: Filippo Calcerano (filippo.calcerano@cmr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Blower Door Test

INFORMAZIONI GENERALI

Il BlowerDoor RETROTEC EU6210 è un sistema di misurazione delle infiltrazioni d'aria ad alte prestazioni. La doppia ventola ad alta potenza rende il sistema ideale per testare edifici di grandi dimensioni. Il sistema include un telaio in alluminio leggero e facile da installare che si adatta ad un'ampia varietà di dimensioni della porta. Se il sistema Blower Door viene usato in combinazione con la termocamera è possibile produrre immagini termiche ancora più significative, grazie alla possibilità di rappresentare e valutare i flussi direttamente nel termogramma.

DETTAGLI TECNICI

Kit Blower Door Test Retronic modello EU6210

(in accordo con EN 13829 e ISO 9972) costituito da:

1. **N.2 ventole 6000 con 2 motori** con le seguenti caratteristiche:
 - Flusso massimo: 13.082 m³/h (50 Hz) per fan
 - Dimensioni: 55.9 cm diametro inlet, 24.8 cm lunghezza, 63.5 cm altezza
 - Peso: 15.2 kg o 16.0 kg con installato Ring A & Plated B8
 - Accuratezza flusso: +/-5%
 - Potenza: 240V@50hz/4.9A
2. **N.1 Telo grande con telaio in alluminio**
3. **N.1 Manometro DM32**



RETROTEC EU6210, 2 FAN



MOUNTED RETROTEC BLOWER DOOR, SINGLE FAN

Referente: Filippo Calcerano (filippo.calcerano@cnr.it)

LABORATORIO: CNR-ISPC

NOME STRUMENTO

Supporting kit (Cover Meter, Hygrometer, Videoscope)

INFORMAZIONI GENERALI

Kit di supporto alle analisi composto da: Pacometro (1), Igrometro (2), e Videoendoscopio (3)

1. Il pacometro PACO DR3000 RL è un localizzatore di armature basato sul principio dell'induzione elettromagnetica per determinare in modo preciso ed accurato posizione, diametro e copriferro delle barre di armatura.
2. L'igrometro a contatto Testo 616 misura l'umidità di equilibrio nei materiali edili in modo veloce e non invasivo, permettendo di rilevare l'umidità all'interno del materiale con una profondità di misura fino a 5 cm.
3. Il videoendoscopio Trotec VIDEOSKOP BO26 permette di effettuare un'analisi ottica documentata con un endoscopio, accedendo alla visione interna di elementi molto piccoli in maniera non invasiva.

DETTAGLI TECNICI:

1. N.1 pacometro DR 3000 RL

- Campo di misura dei diametri 6-50 mm
- Campo di misura profondità: Basso range 6 - 90 mm; Alto range 7 - 190 mm
- Temperatura operativa: tra - 10 °C e + 40 °C (umidità < 90%RH)

2. N.1 igrometro a contatto Testo 616

- Campo di misura umidità: < 50 % (legno), < 20 % (materiali da costruzione)
- Campo di misura profondità: fino a 5 cm
- Dimensioni: 70 x 58 x 234 mm
- Peso: 260 gr
- Temperatura operativa: tra 5 °C e 40 °C

3. N.1 video endoscopio Trotec VIDEOSKOP BO26

- Doppia sonda videoscopica a collo di cigno
- Diametro testina sonda standard: 17mm
- Lunghezza cavo sonda standard: 1m
- Diametro testina sonda aggiuntiva: 6mm
- Lunghezza cavo sonda aggiuntiva: 3m



DR3000 RL



Testo 616



Trotec VIDEOSKOP BO26

Referente: Filippo Calcerano (filippo.calcerano@cnr.it)