

Riflettometria a microonde per la diagnostica non distruttiva nel settore dei beni culturali.

MCR - VIII Workshop di Geofisica

Museo Civico di Rovereto, 2 Dicembre 2011



Obiettivi del progetto

Le attività di ricerca sono sostenute dal progetto *Rimidia* finanziato dalla Regione Toscana (2010-2012) su “*Studio delle arti e delle tecnologie per la salvaguardia e valorizzazione dei beni culturali*” con i seguenti obiettivi:

- Studio della fattibilità della Riflettometria a Microonde come tecnica di diagnostica per immagini (*RiMiDia*)
- Messa a punto dello strumento di indagine e sviluppo di modelli interpretativi delle immagini ottenute dallo strumento RaM
- Sviluppo di sistemi di scansione e posizionamento con sensori a microonde avanzati

Partners e competenze

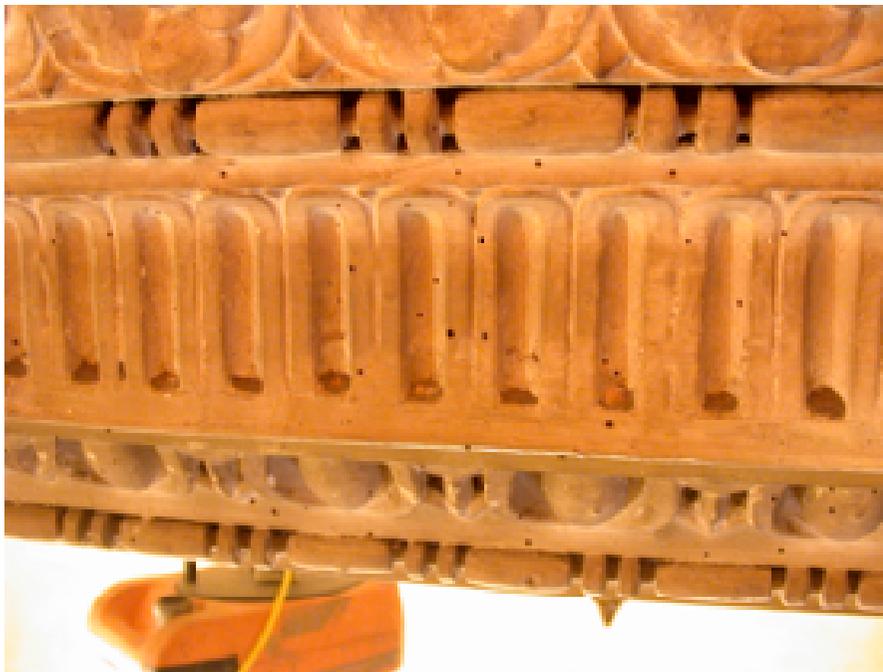
	Ente/Azienda	Competenze
1	DET – UNIV. Fi	Progettazione strumentazione elettronica - metodi di controllo non distruttivo
2	Opificio Pietre Dure	Restauro – Conservazione
3	IFAC – CNR	Modellazione e Progettazione elettromagnetica
4	IVALSA - CNR	Analisi e conservazione opere d'arte e strutturali in legno
5	ELab Scientific srl	Progettazione strumentazione diagnostica per beni culturali
6	Faberrestauro snc	Restauro affreschi ed opere murarie
7	LegnoDOC srl	Progettazione e manutenzione opere strutturali in legno

Sommario

1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. Modelli in scala e misure di laboratorio
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali

Il legno è un materiale di origine biologica che viene degradato da organismi che traggono nutrimento da esso. Il legno utilizzato nei beni culturali, come legno strutturale degli edifici storici (capriate, travi di soffitti, pilastri) e in manufatti di valore artistico (cori, pulpiti, statue, tavole pittoriche) può subire un degradamento principalmente ad opera di insetti e di funghi.



insetti



funghi

Funghi della carie del legno: basidiomiceti

I funghi basidiomiceti si sviluppano sul legno umido ($U > 20\%$) e determinano una diminuzione della sua resistenza meccanica a causa dell'azione di enzimi che degradano cellulosa, emicellulosa e lignina. Nelle travature si sviluppano dove vi è un incremento di umidità del legno, spesso nelle parti interne alle murature, zona difficilmente accessibile all'indagine diagnostica.



Insetti del legno

Gli insetti che degradano il legno nell'ambito dei beni culturali sono principalmente insetti Coleotteri delle famiglie Anobidi, Cerambicidi, Lictidi, Curculionidi e insetti Isotteri comunemente chiamati termiti.



Attacco attivo dovuto ad Anobidi, coro ligneo Abbazia Vallombrosa



Attacco attivo (Anobidi, Cerambicidi) su trave di castagno, Duomo di Siena

Sommario

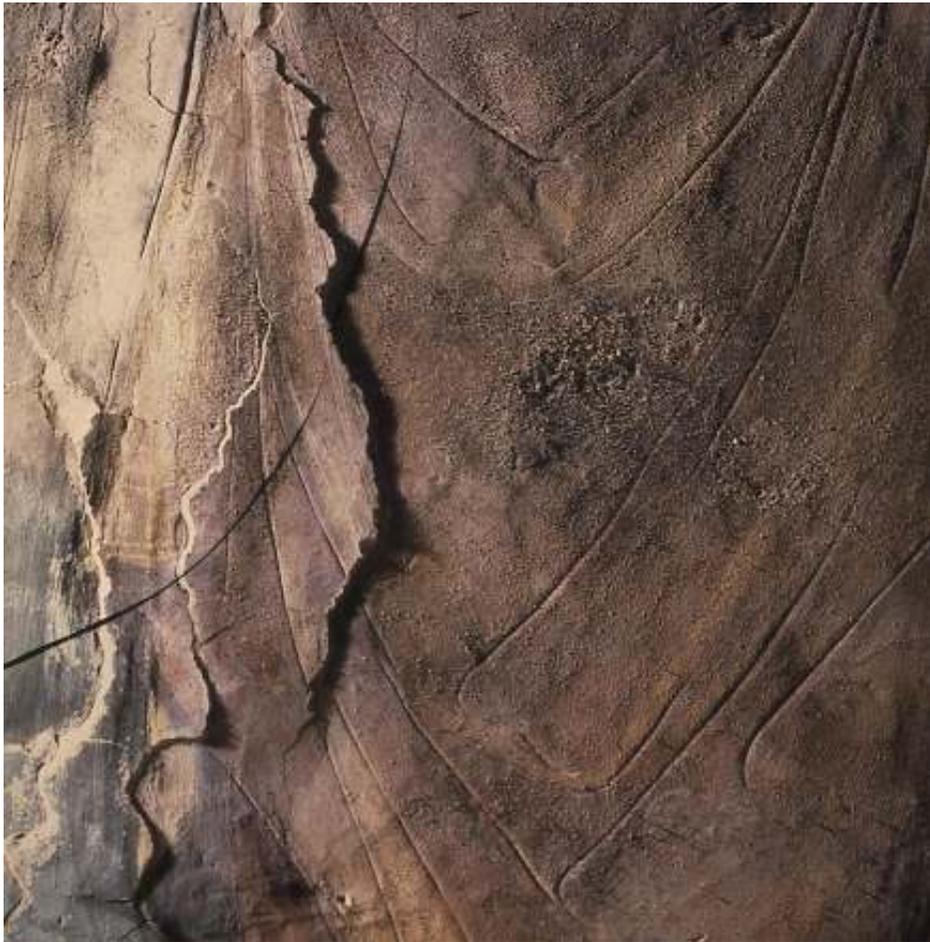
1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. Modelli in scala e misure di laboratorio
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Meccanismi di degrado delle opere murarie

Provocano la perdita di adesione fra i materiali che compongono tali manufatti, causando:

- **polverulenza** (perdita di adesione dei materiali nel corpo di una malta)
- **distacchi** (perdita di adesione fra gli strati di intonaco, e fra questi e il supporto)
- **fessurazioni** (perdita di adesione fra i materiali che compongono la struttura di supporto)

Meccanismi di degrado delle opere murarie



Esempi di distacchi e deformazioni dell'intonaco pittorico evidenziati grazie alle riprese effettuate con illuminazione radente.



Meccanismi di degrado delle opere murarie



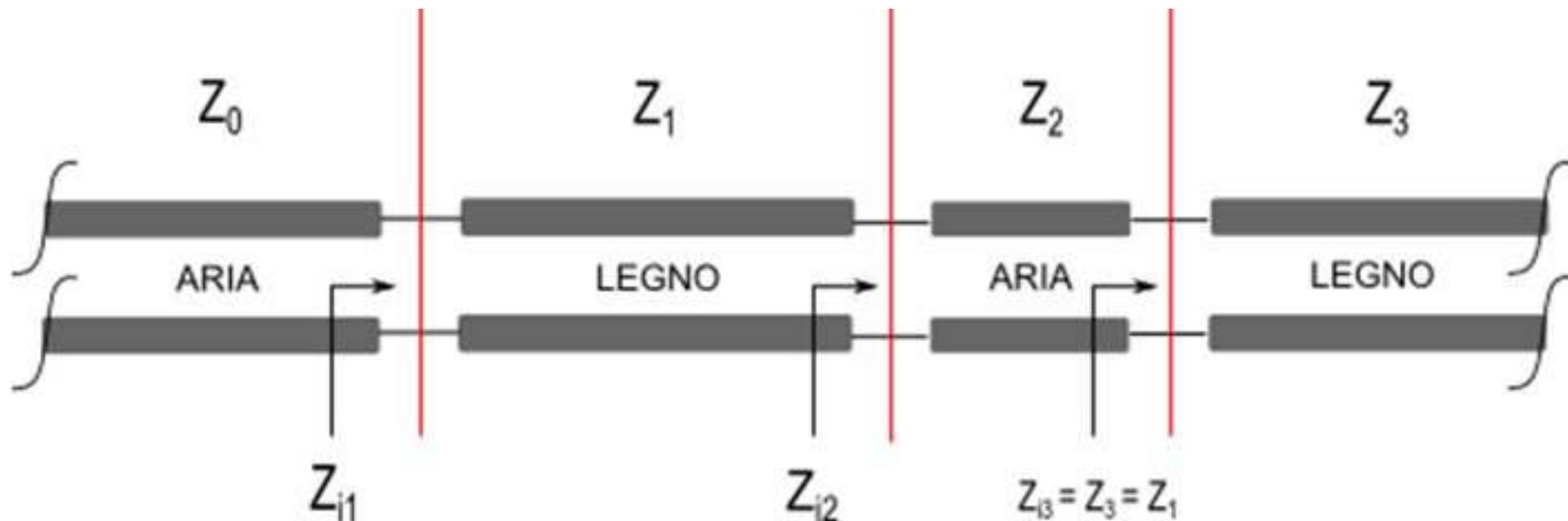
Esempi di fessurazioni dell'intonaco pittorico che denunciano un degrado strutturale.

Sommario

1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a Microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. Modelli in scala e misure di laboratorio
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Modello e.m. semplificato

Il mezzo stratificato ha come circuito equivalente una successione di linee TEM in cascata, di impedenza caratteristica dipendente dalla costante dielettrica del particolare strato.



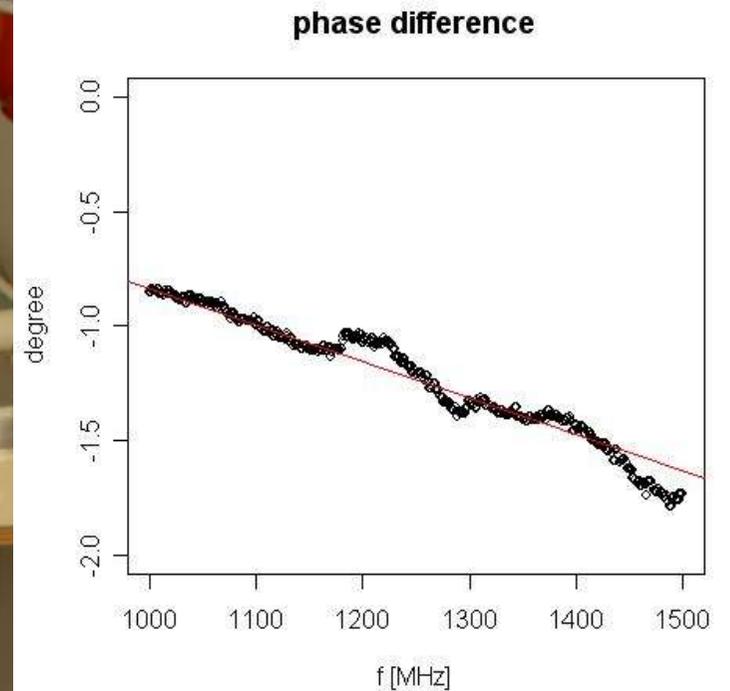
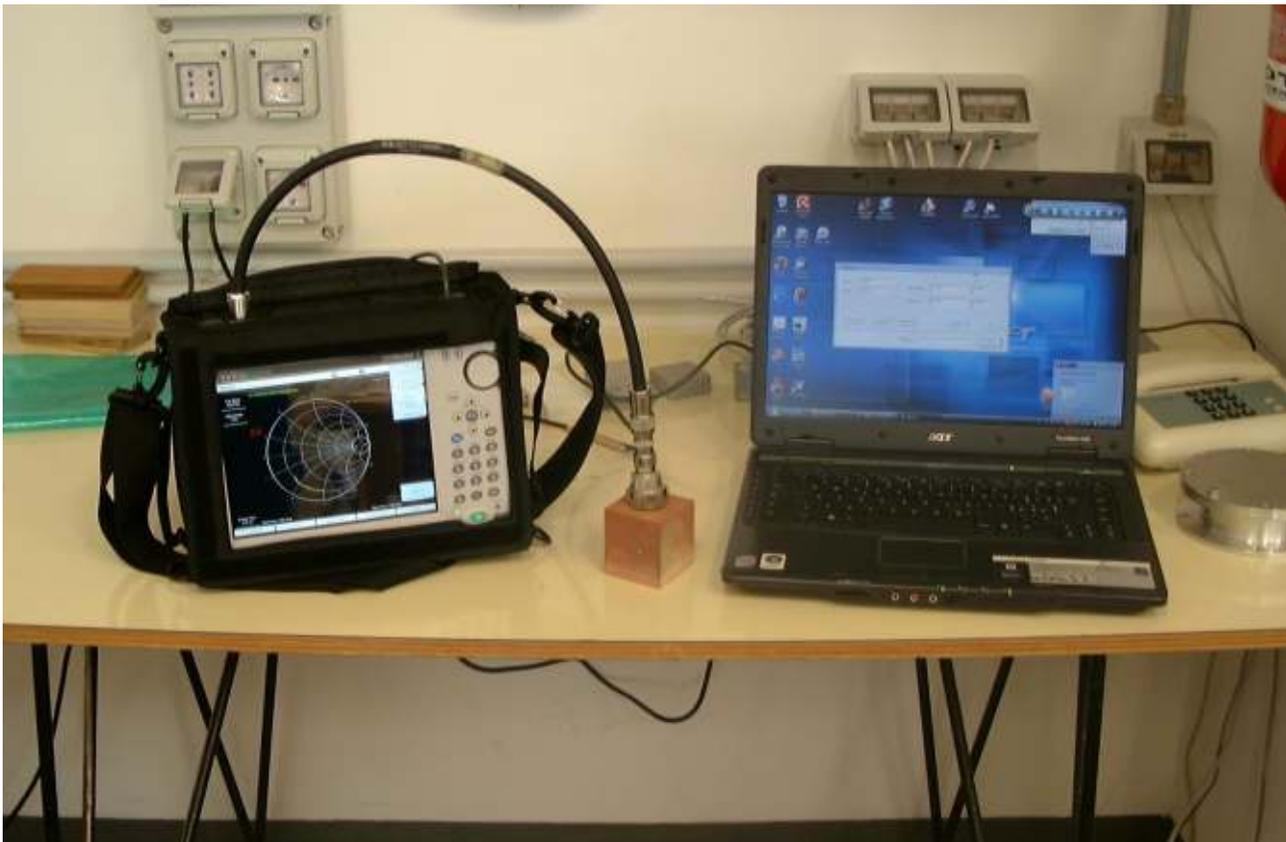
$$\Gamma(f, d_1, d_2) = \frac{Z_0 - Z_{i1}(f, d_1, d_2)}{Z_0 + Z_{i1}(f, d_1, d_2)}$$

$$Z_{i1}(f, d_1, d_2) = Z_1 \frac{Z_{i2}(f, d_2) + iZ_1 \tan(k_1 d_1)}{Z_1 + iZ_{i2}(f, d_2) \tan(k_1 d_1)}$$

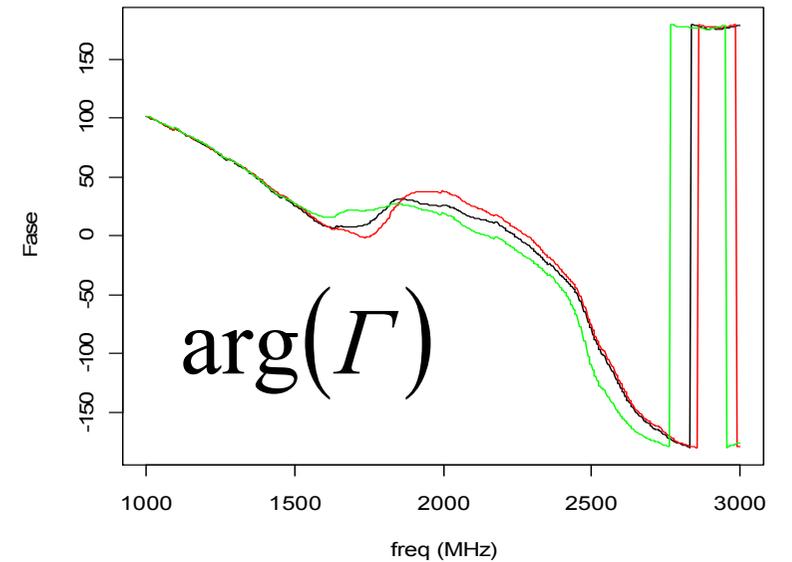
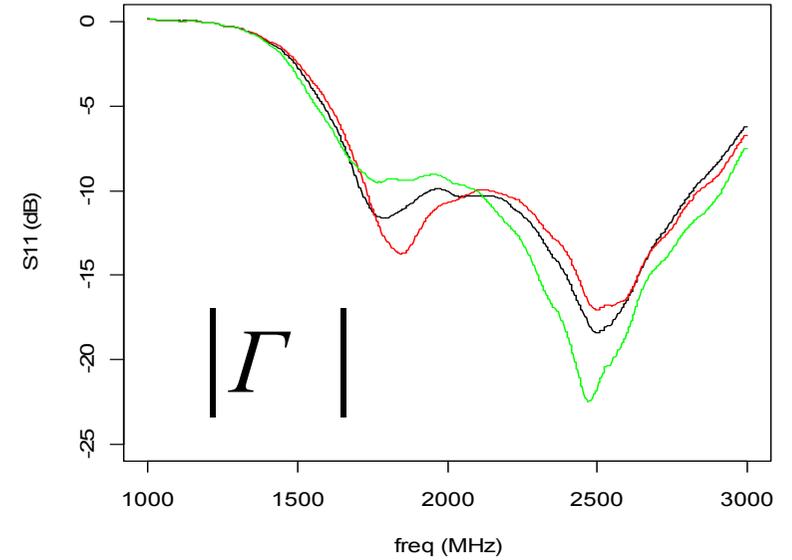
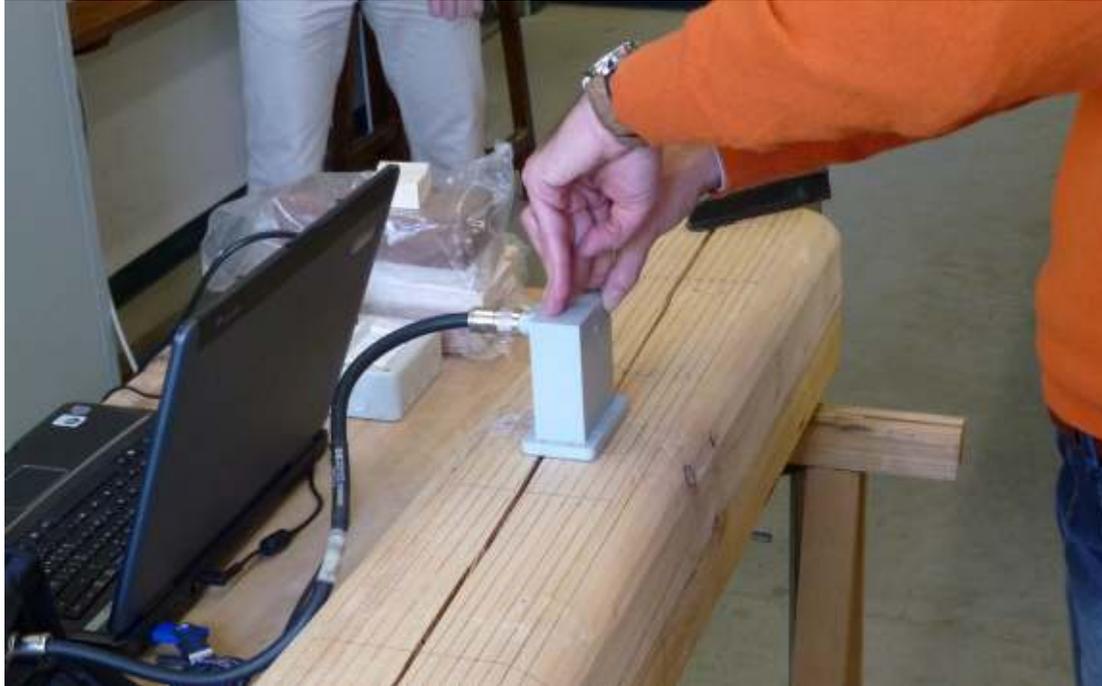
Il riflettometro a microonde misura discontinuità di impedenza elettrica

Misure riflettometriche con apertura coassiale

- Misura in riflessione (modulo e fase)
- Strumenti impiegati:
 - Riflettometro portatile Anritsu S331E
 - Sonda in coassiale troncato 7/16



Apparato di prova con antenna Ridged



Definizione del parametro K_ε

$$K_\varepsilon = \frac{|\Gamma_{rif}|}{|\Gamma|} \cos[\arg(\Gamma) - \arg(\Gamma_{rif})]$$

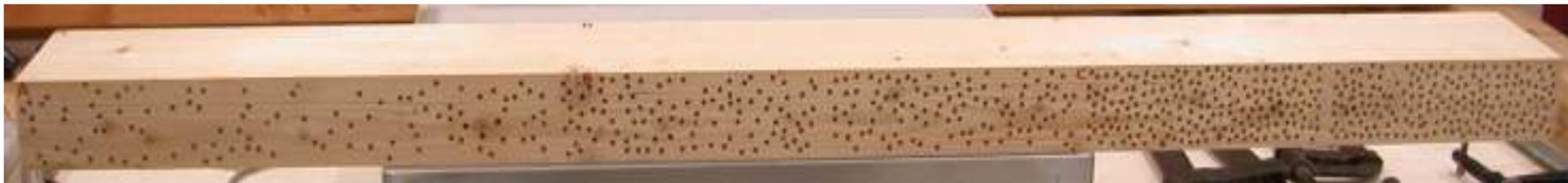
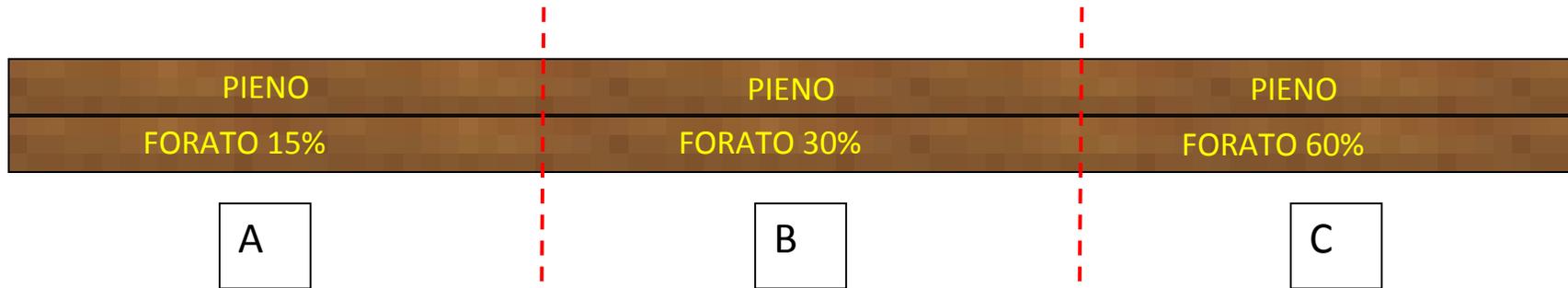
Γ *coefficiente di riflessione*

$$\Gamma_{rif} = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \quad \textit{coeff. di riflessione di riferimento}$$

Il parametro K_ε è stato concepito per fornire una rappresentazione riassuntiva delle informazioni del modulo e della fase

Si rappresentano le variazioni del coefficiente di riflessione rispetto ad una zona assunta come riferimento (ad es materiale omogeneo)

Misure con RAM su modello di trave



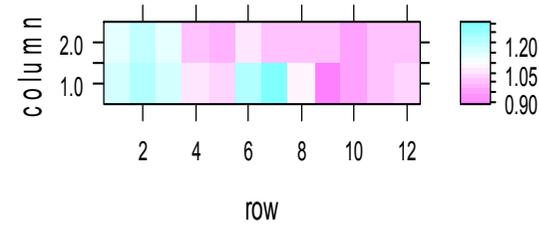
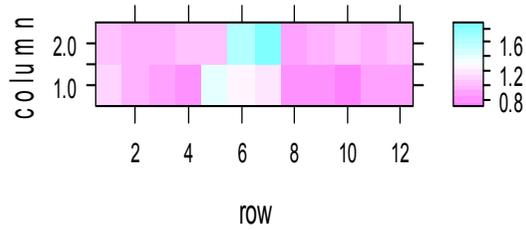
Schema della trave con zone di attacco a densità calibrata



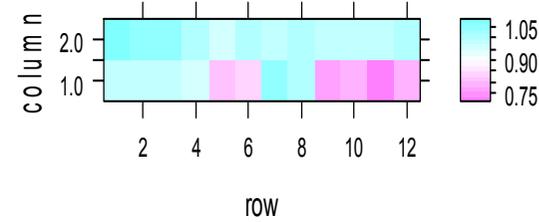
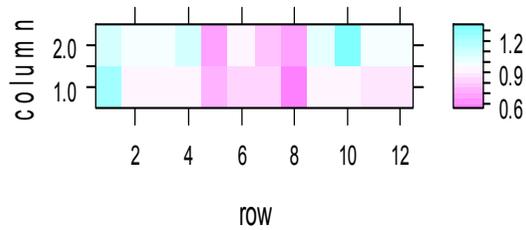
dettaglio della misura con RAM

Imaging con parametro K_ε

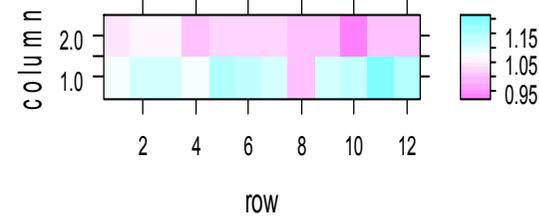
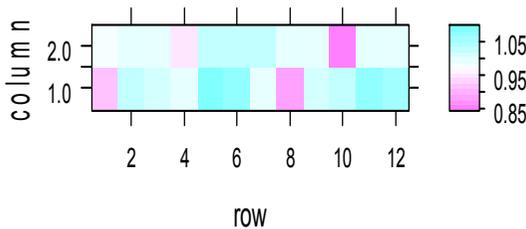
(2.5 – 3 GHz)



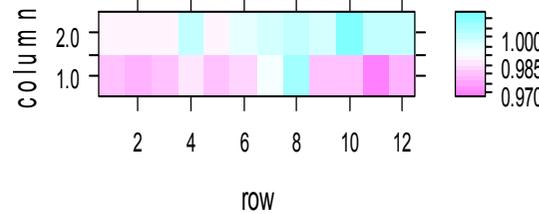
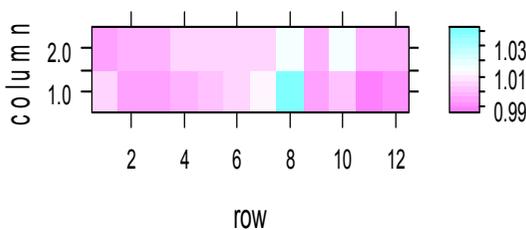
(2 – 2.5 GHz),.



(1.5 – 2 GHz),



(1 – 1.5 GHz),



(a)

(b)

K_ε , con campo elettrico E polarizzato trasversale alle fibre (a) e longitudinale alle stesse (b)

Osservazioni misure su modello di trave con zone di attacco calibrate

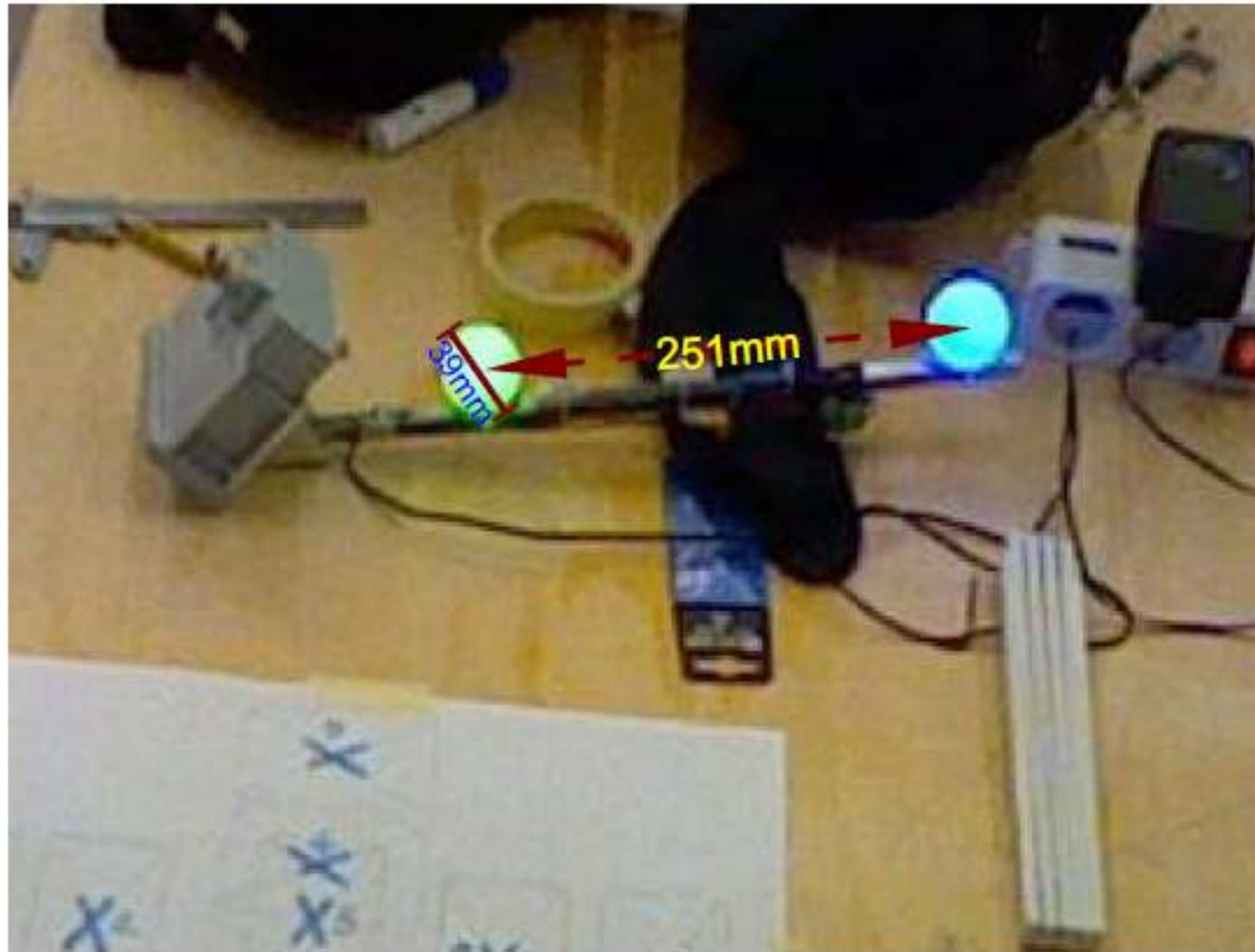
La polarizzazione trasversale discrimina poco tra le due semi-travi. Questo appare ragionevole in quanto il campo elettrico è sostanzialmente tangente alle “gallerie” fatte con il trapano, ed è dunque continuo alle interfacce legno/aria.

La polarizzazione longitudinale discrimina bene tra la regione integra (sopra) e quella “tarlata” (sotto), ad eccezione della seconda banda di frequenze (1.5 – 2 GHz, seconda a destra dal basso) che discrimina poco tra le sezioni C-integra e C-tarlata.

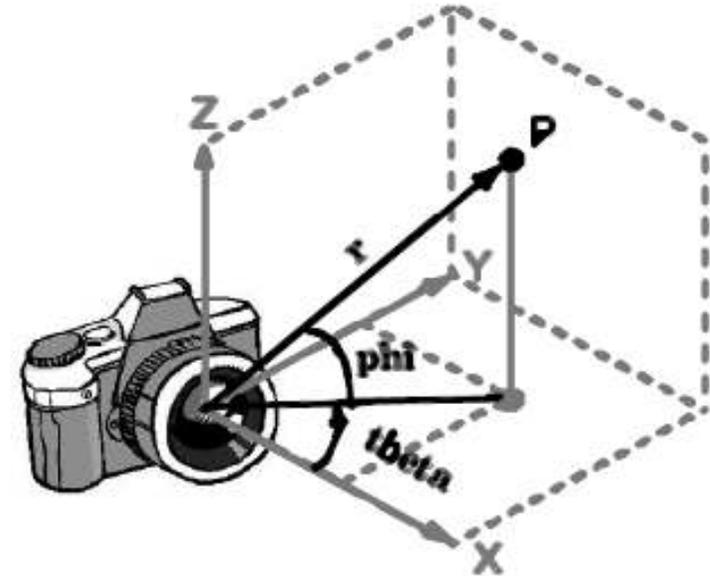
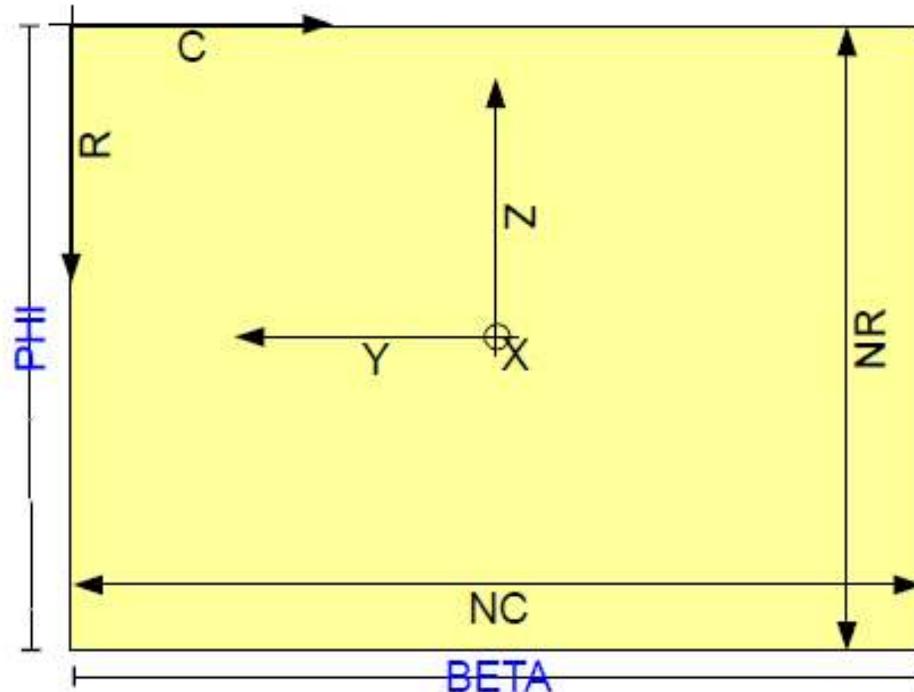
Sommario

1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. Modelli in scala e misure di laboratorio
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Barra con sorgenti luminose

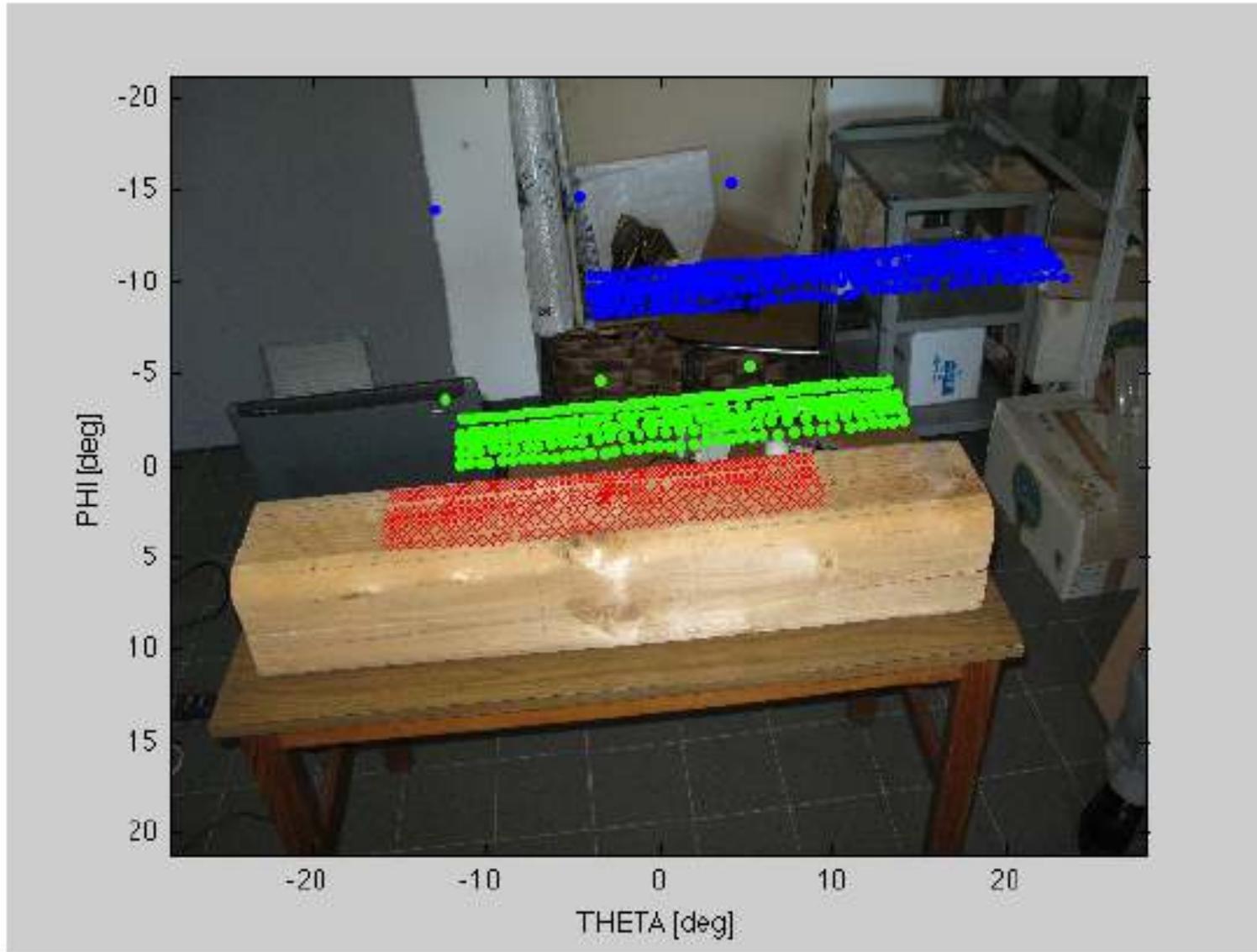


Sistema di coordinate

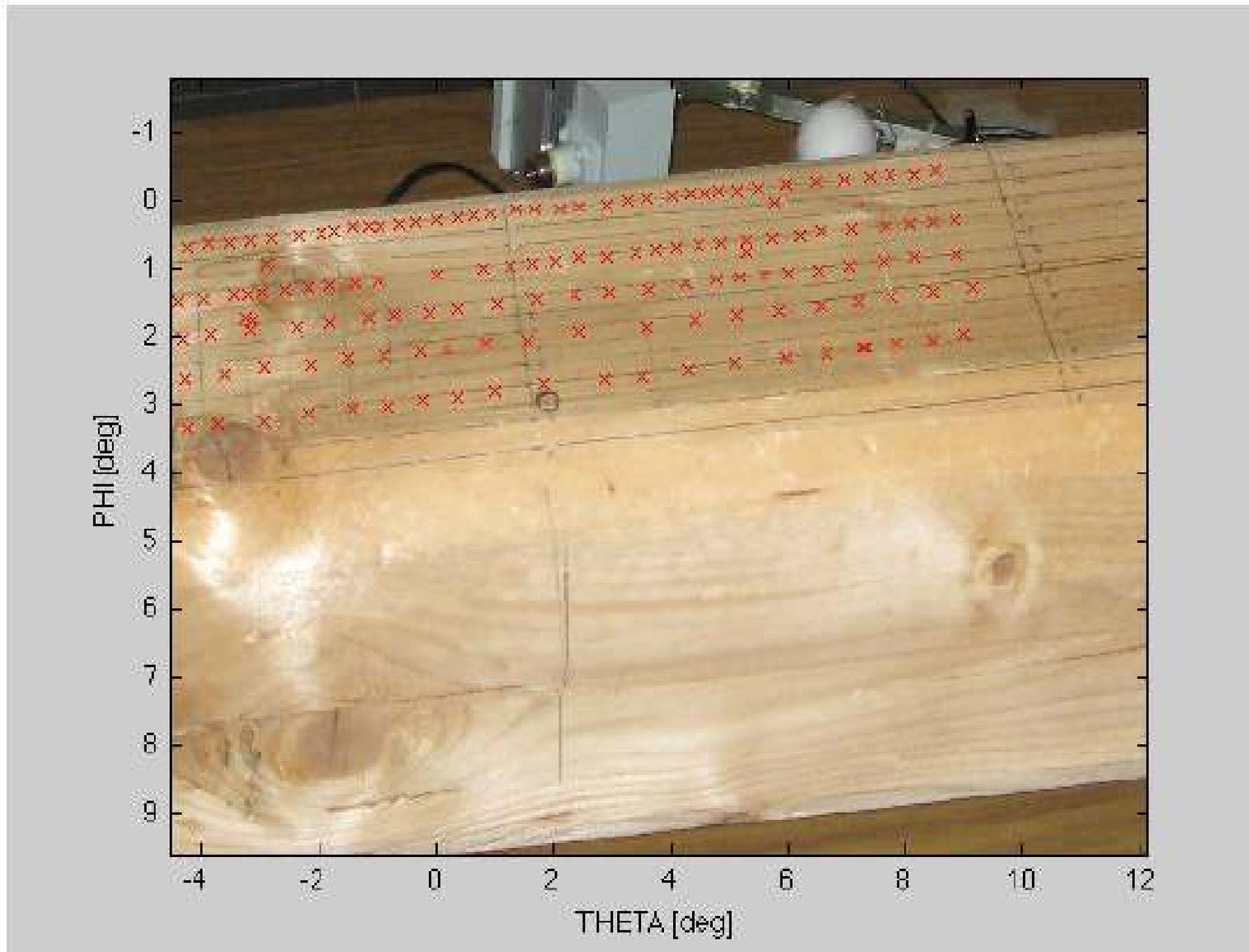


- L'origine è posizionata sul centro ottico della fotocamera digitale
- Assi di riferimento orientati come nella figura sulla destra
- Riferimenti sul piano immagine mostrati nella figura sulla sinistra

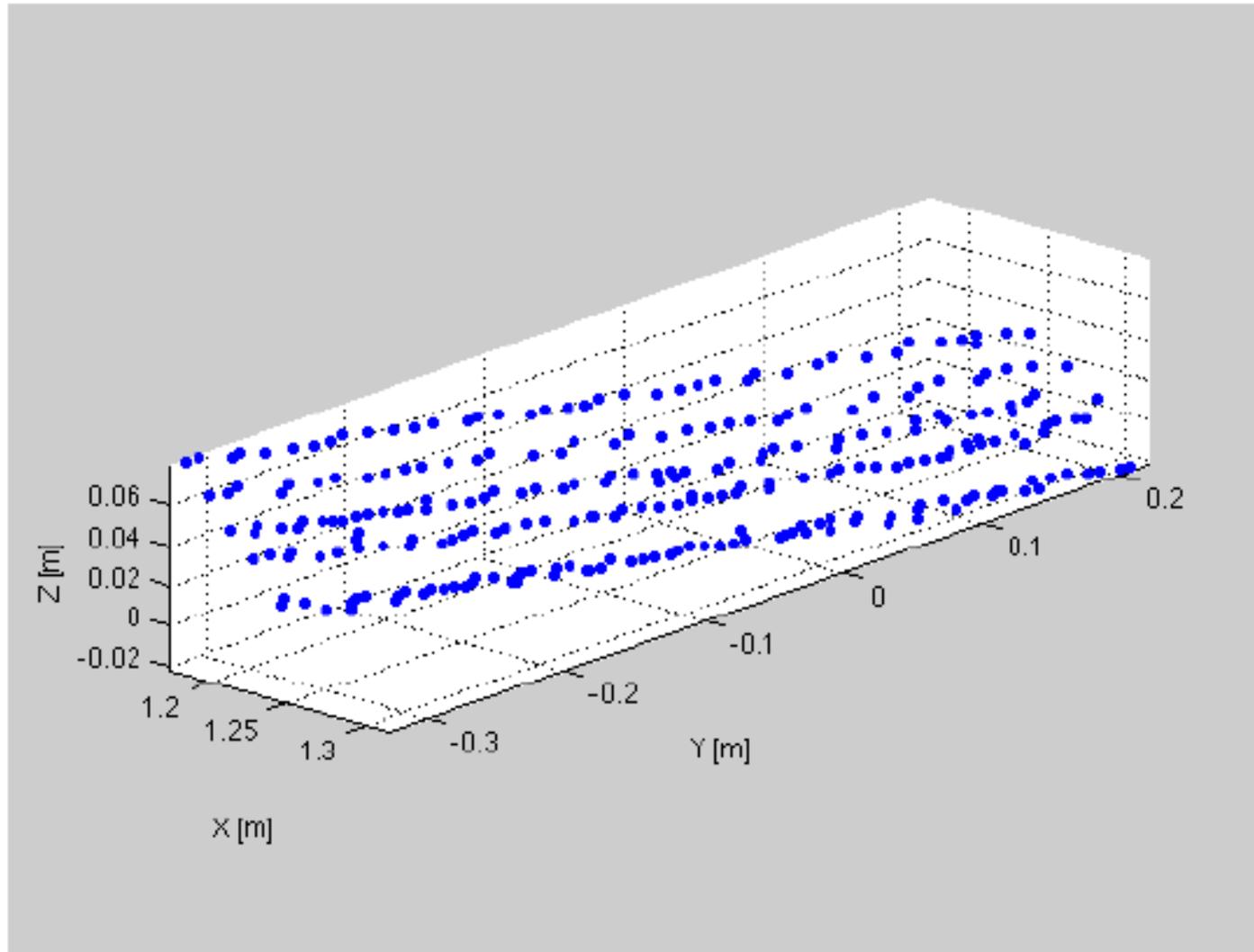
Posizioni stimate delle sorgenti luminose e quelle sul manufatto



Dettaglio delle posizioni di misura



Stima delle posizioni 3D dei punti di misura



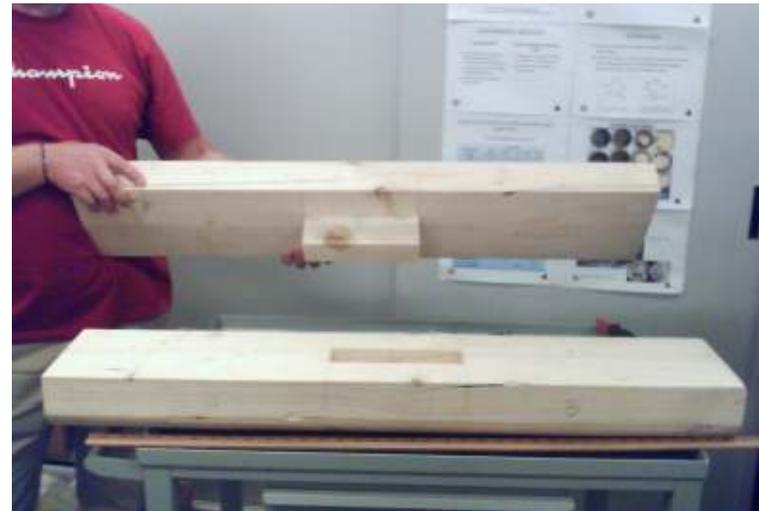
Incertezza di posizionamento $< 1\text{cm}$ necessaria per effettuare imaging con lunghezze d'onda nel materiale da 4cm a 7 cm.

Sommario

1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. **Modelli in scala e misure di laboratorio**
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Trave con inserto per alloggiare campionicon vari tipi di attacco da insetti cresciuti in laboratorio

2

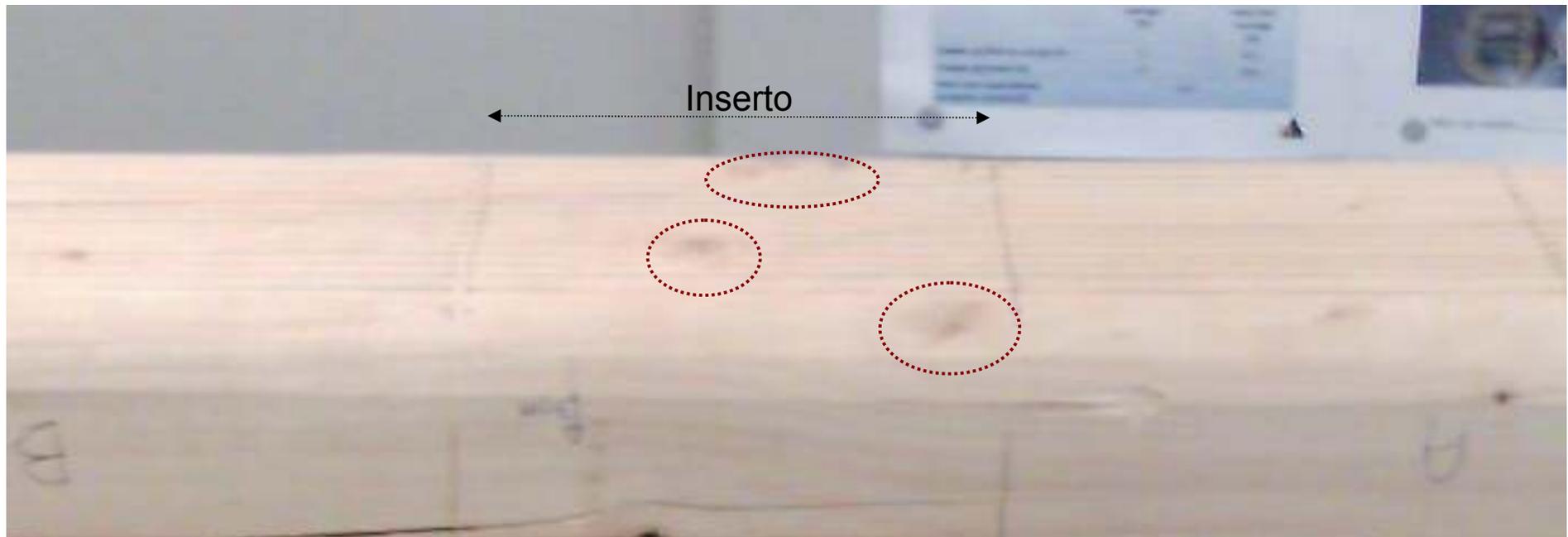


3

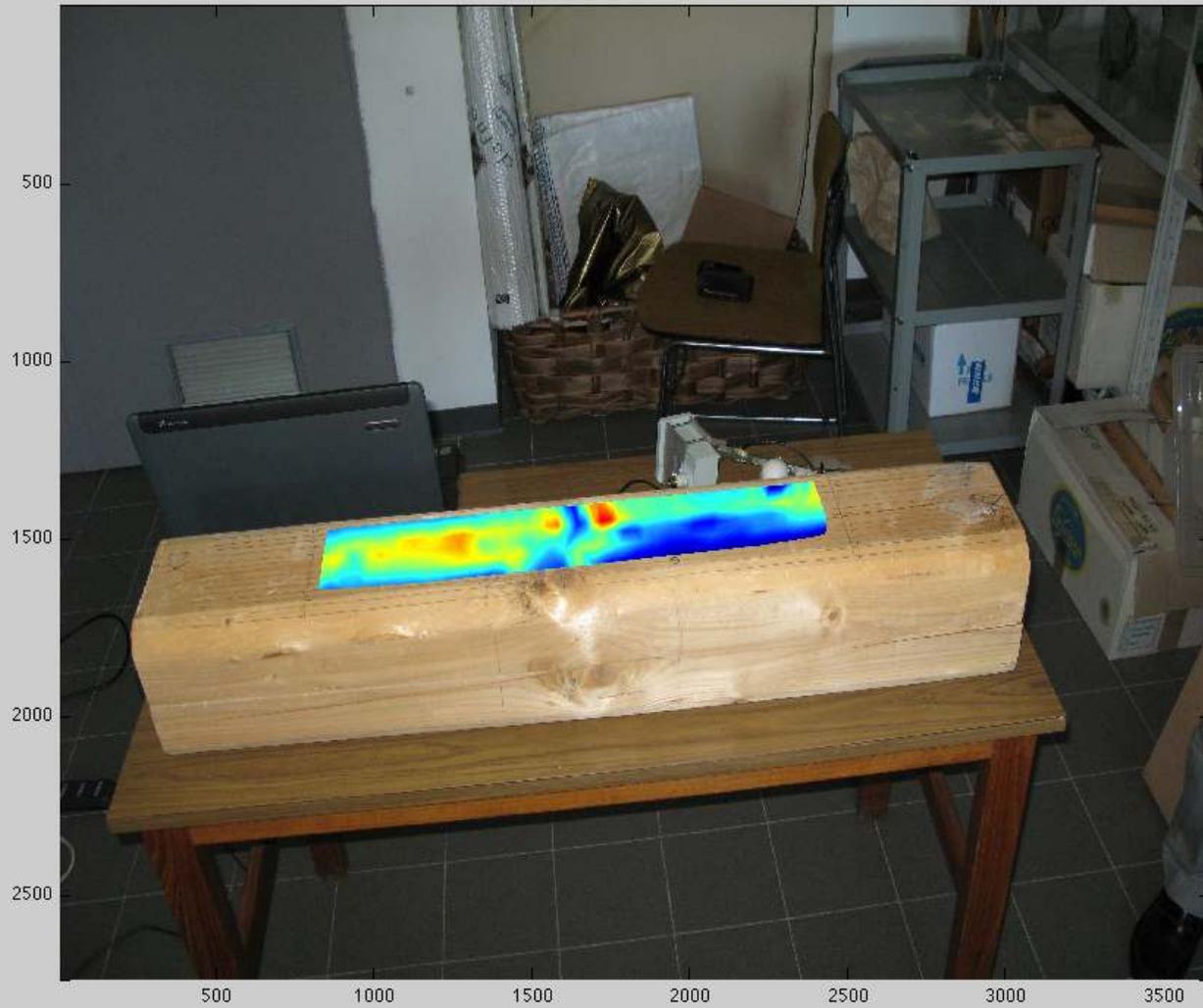


Stato della trave sopra l'inserto

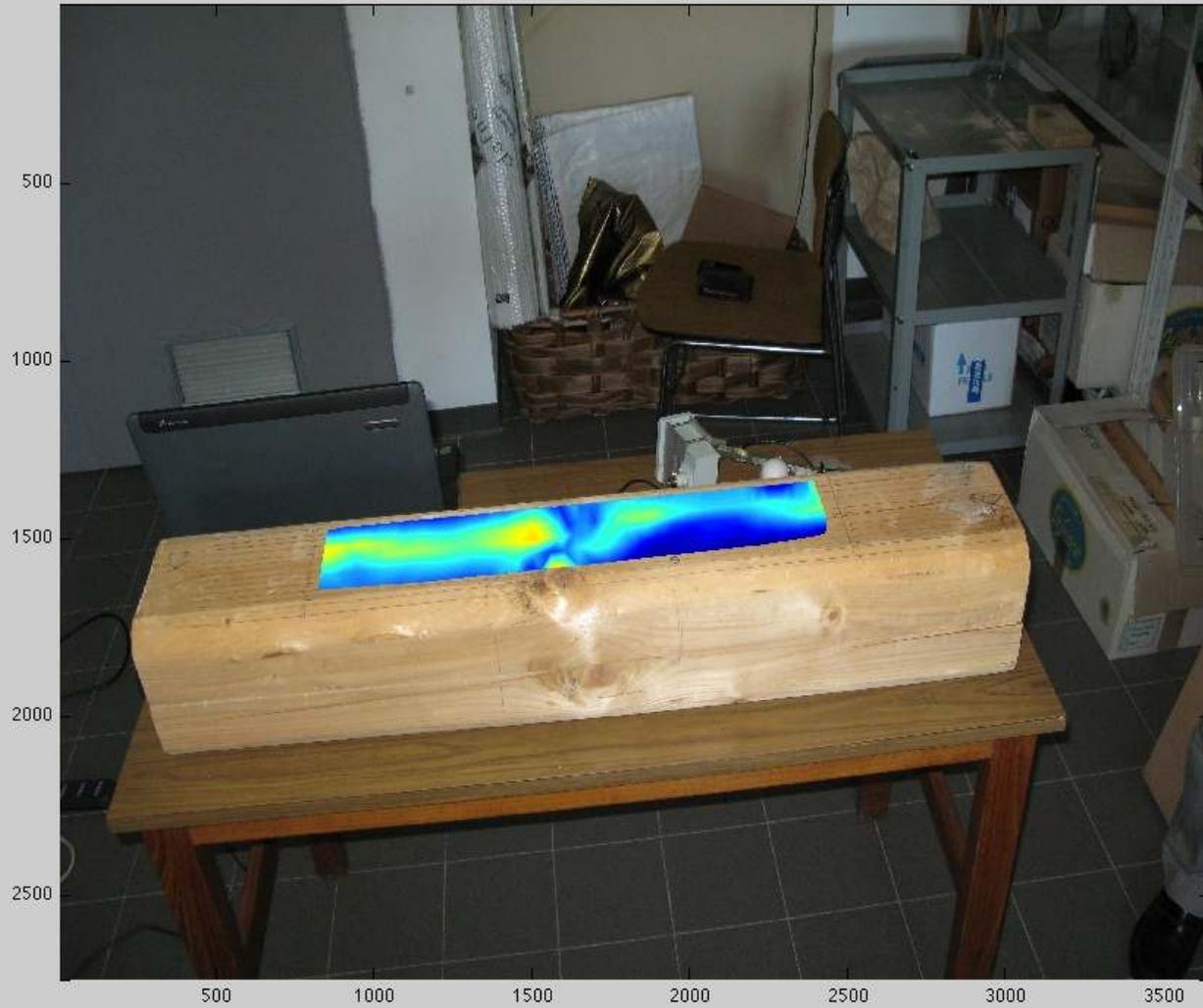
- La trave presenta tre nodi nella zona dell'inserto ed una spaccatura interna in direzione longitudinale alle fibre
- Lunghezza d'onda nel legno a 2GHz va da 4cm a 6cm, la profondità di penetrazione almeno 6cm



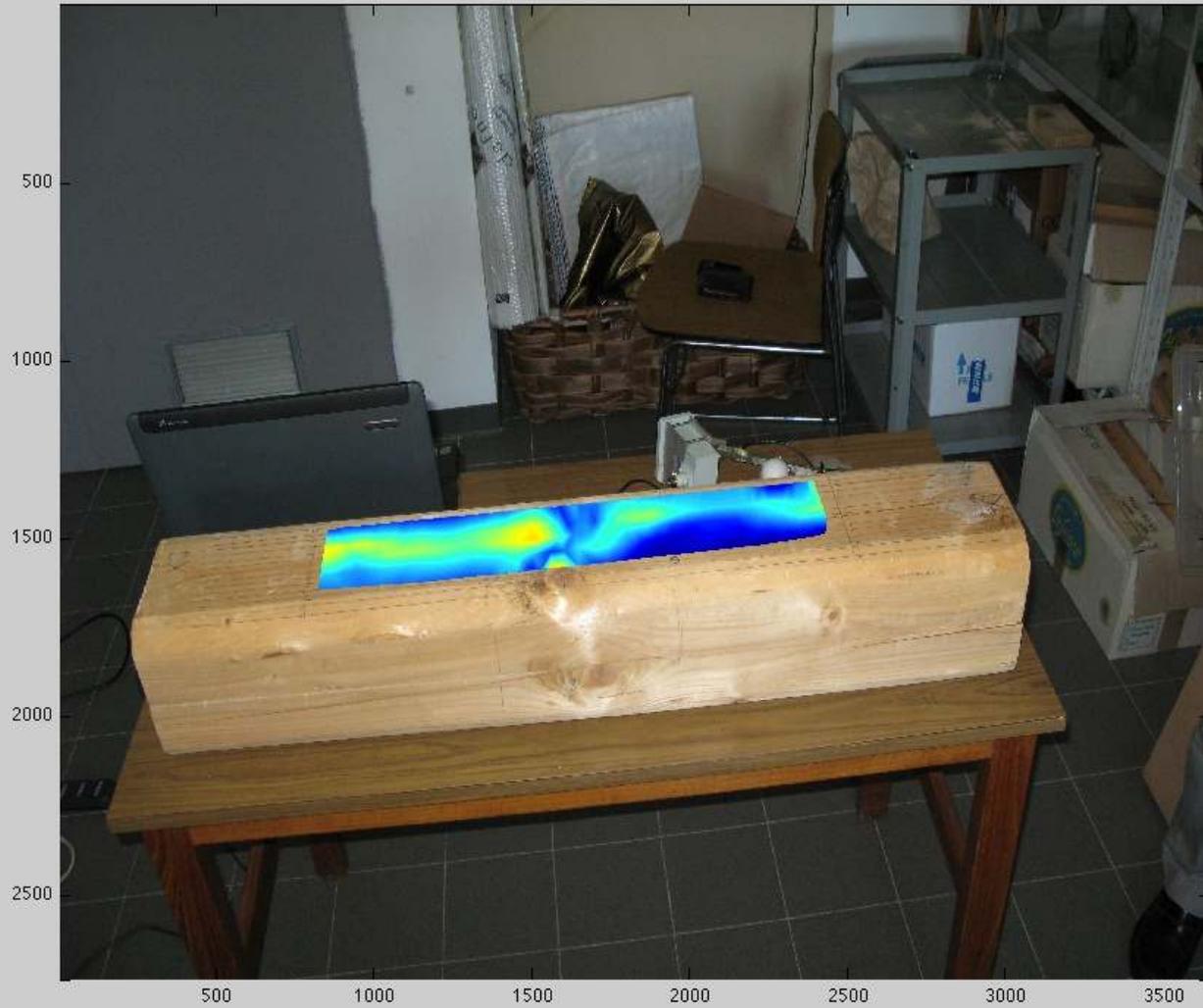
slice 1 - min: 0.00025462 max: 0.13281



slice 2 - min: 0.00040061 max: 0.35318



slice 2 - min: 0.00040061 max: 0.35318



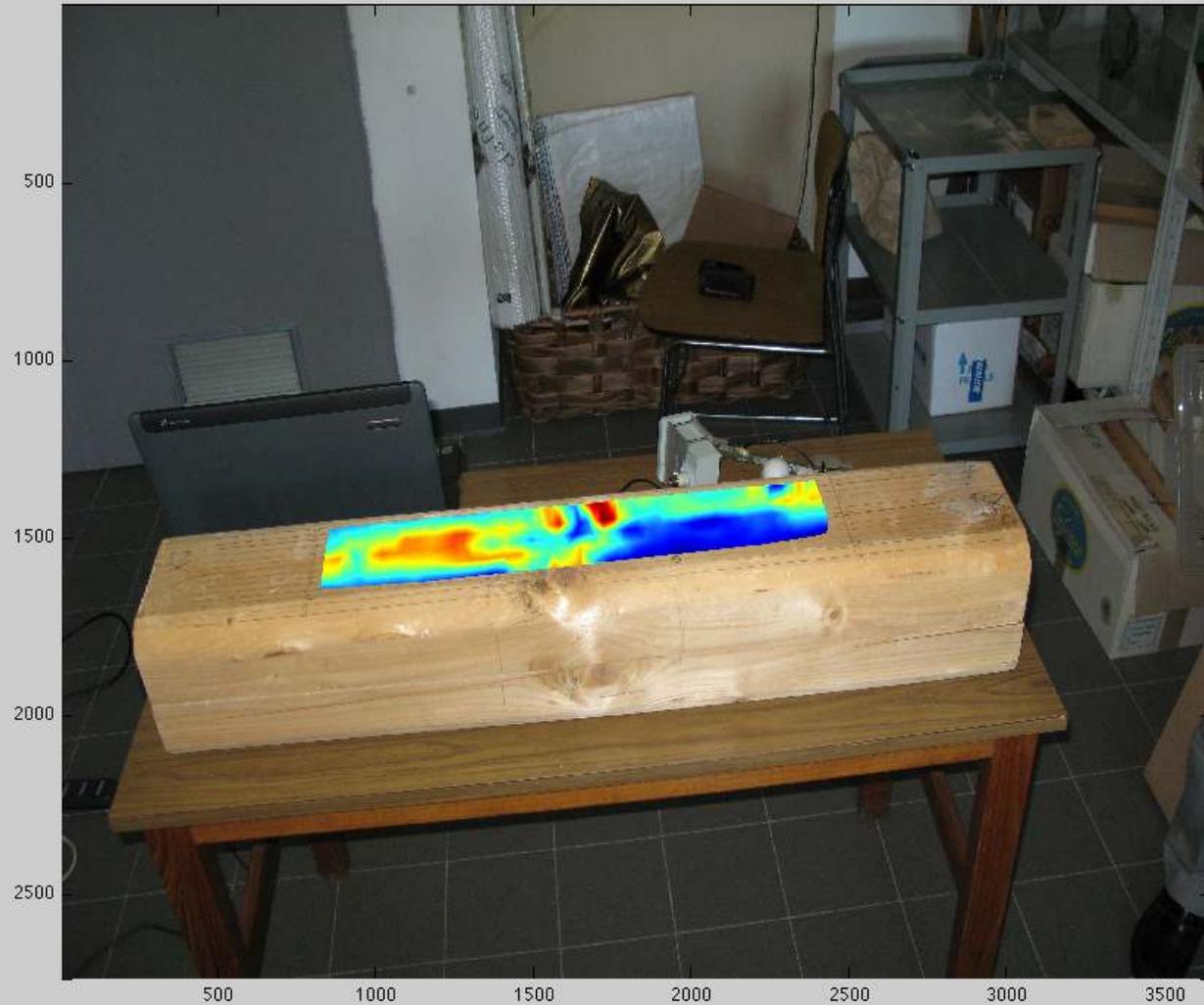
slice 4 - min: 0.0002078 max: 0.22363



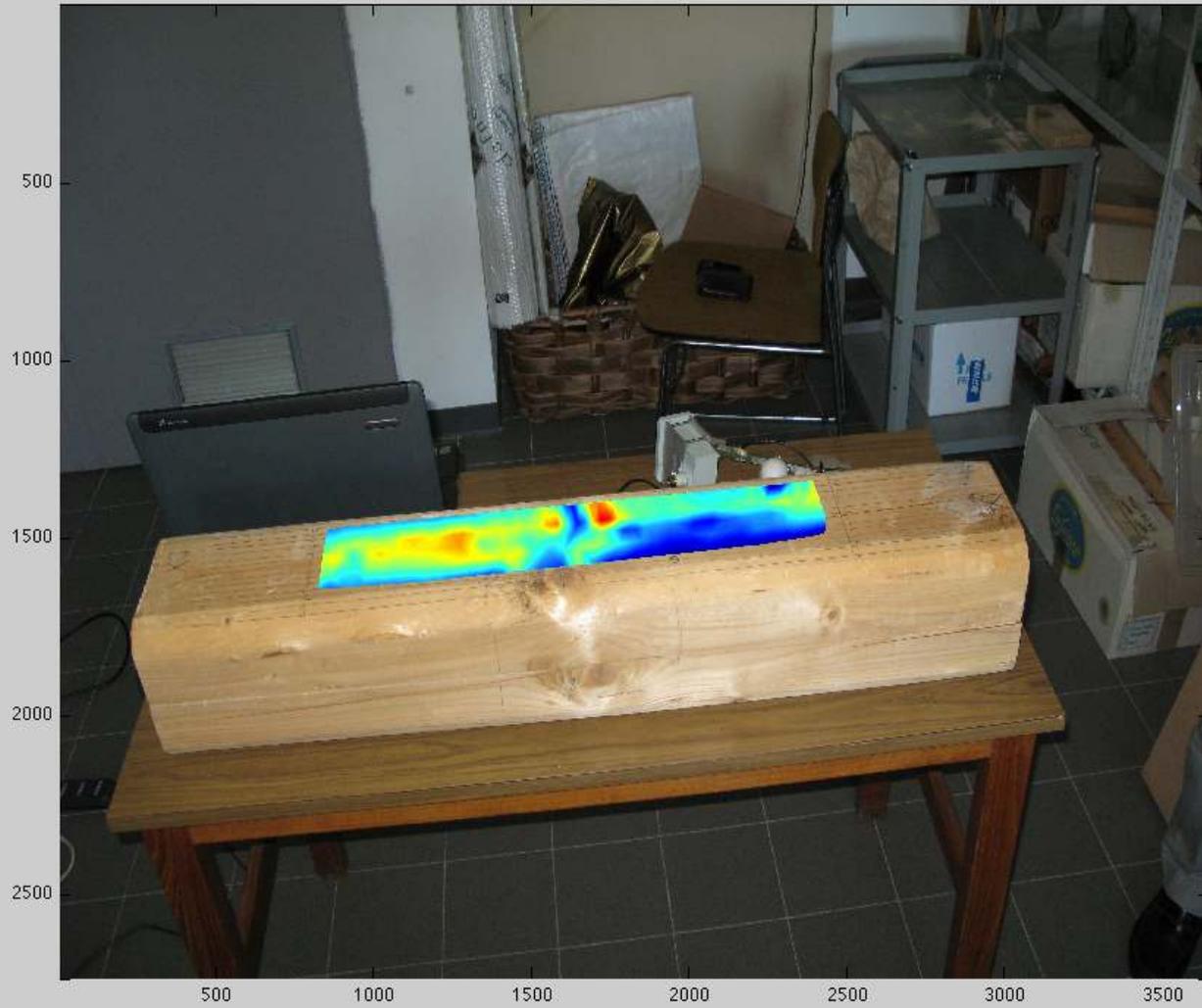
slice 5 - min: 0.00016002 max: 0.41207



slice 6 - min: 0.00049172 max: 0.51324



slice 7 - min: 0.00040975 max: 0.45443



Sommario

1. Meccanismi di degrado del legno nei beni culturali
2. Meccanismi di degrado delle opere murarie
3. Principio di funzionamento Riflettometro a microonde
4. Sistema di posizionamento ottico
5. Modelli in scala e misure di laboratorio
6. Scansione robotizzata di grandi superfici

Robot Object Scanner

Conclusioni

Il prototipo del riflettometro a microonde (RAM) sarà utilizzato per verificare in laboratorio i meccanismi di degrado nel legno e su opere murarie su modelli in scala.

Lo studio di fattibilità di un sistema di posizionamento ottico semplice e di basso costo ha verificato l'utilizzabilità del metodo sul campo, rendendo immediata la fruibilità delle immagini correlate alla struttura indagata. Il metodo è applicabile anche ad altri tipi di sonde (umidità, ultrasuoni etc)

È in fase di progettazione un riflettometro a microonde compatto e di basso costo per renderlo portatile.

Per aumentare la produttività per la scansione di grandi superfici è stato progettato e realizzato un robot connesso in remoto per realizzare immagini in tempo reale

Informazioni sul progetto: rimidia.det.unifi.it