

## La ricomposizione virtuale assistita di frammenti di pittura murale

*Giuseppe Basile, Giovanni Attolico, Arcangelo Distante, Marco Malavasi*  
**Bollettino ICR no. 05, 2002**

Studentessa: **Elisa De Martiis**



# Introduzione

Cesare Brandi, nel 2° dopoguerra, lavorò su due cicli di affreschi:

## **Cappella Mazzatosta**

della chiesa di S. Maria della Verità a Viterbo, dipinta da Lorenzo da Viterbo nella 2° metà del '400.

## **Cappella Overtari**

chiesa degli Eremitani a Padova, Andrea Mantegna, 2° metà '400.

Le tecniche di **riasseblaggio** prevedevano:

- cercare la corrispondenza tra frammento e *fotografia* (se esistente);
- ricercare l'attacco, identificando i frammenti contigui per accostamento.

Brandi evidenziò l'importanza della 1° fase, dimostrò che l'uso complementare di entrambe implementava i risultati.



Curiosità: in questa occasione Brandi mise a punto la tecnica del "**tratteggio**".

# Introduzione

L'ICR si occupò di casi analoghi, in seguito a:

- eventi sismici (*Friuli*)
- scavi archeologici  
(*dipinti altomedievali dell'Abbazia di S. Vincenzo al Volturno, Molise*)
- ritrovamenti fortuiti e imprevedibili  
(*Chiesa di S. Susanna, Roma: nel sottosuolo della sacrestia in un sarcofago romano fu trovato uno scheletro ricoperto da frammenti di un dipinto murale altomedievale*)



Frammenti del dipinto murale nella chiesa di Santa Susanna



S. Vincenzo al Volturno



Curiosità: in questa occasione Brandi mise a punto la tecnica del "tratteggio".

# Introduzione

La collocazione del frammento è da individuare tramite:

## conoscenze dell'operatore:

- attitudine: "l'occhio"
- esperienza
- cultura visiva

## indizi sul frammento:

- colore, forma, dimensioni;
- segni di degrado interrotti da un improvviso trauma (*lesioni, lacune, abrasioni, alterazioni, ecc.*).



Frammenti del dipinto murale nella chiesa di Santa Susanna



S. Vincenzo al Volturno



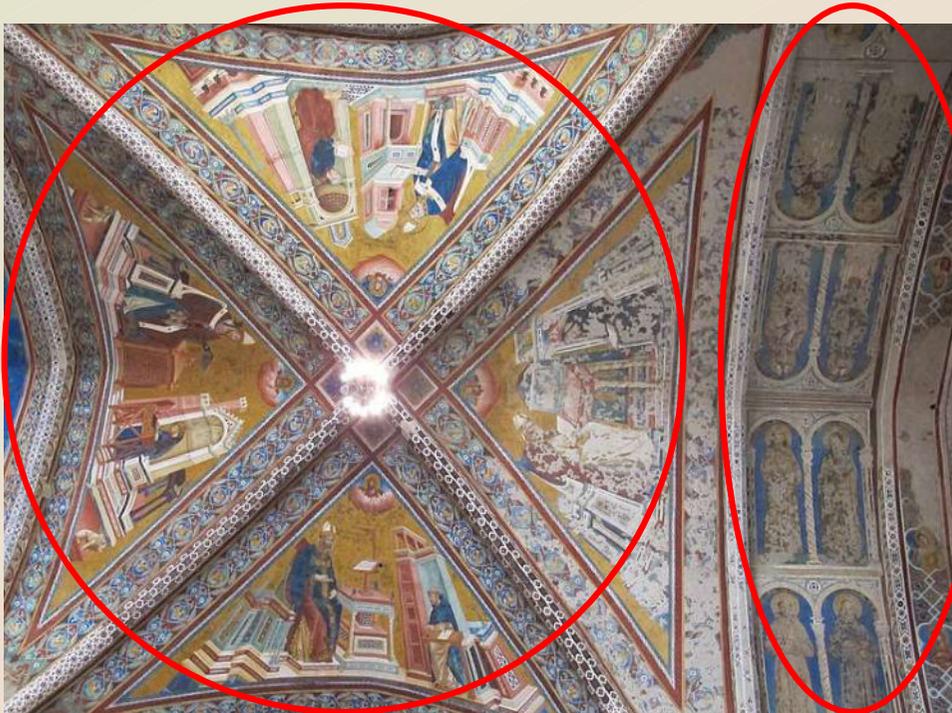
Curiosità: in questa occasione Brandi mise a punto la tecnica del "tratteggio".

# Basilica Superiore di San Francesco di Assisi

## Dipinti murali di Cimabue, 1277-83

Il terremoto del 26 settembre 1997 provocò il crollo della facciata. L'ICR si occupò di restaurare gli affreschi:

- **Otto santi** di Giotto, dipinti sull'arcone d'ingresso;
- **Vela di S. Girolamo**, nella Volta dei Dottori della Chiesa, (Giotto?) furono restaurati 80.000 frammenti in 3 anni di lavoro.



# Basilica Superiore di San Francesco di Assisi

## Dipinti murali di Cimabue, 1277-83

**Vela di S. Matteo** nella Volta degli Evangelisti, di Cimabue.

Vennero richiesti *strumenti informatici* per affrontare varie difficoltà:

- **Il gran numero** di frammenti: *120.000 in 880 cassette*;
- **Le loro condizioni**: *quasi monocromi (perdita d'oro dal fondo, pigmenti alterati)*. Riconoscere la zona di appartenenza era problematico.
- **Evitarne l'usura** da manipolazione per individuare la corrispondenza, *lavorando con analoghi digitali*.



# Basilica Superiore di San Francesco di Assisi

## Dipinti murali di Cimabue, 1277-83

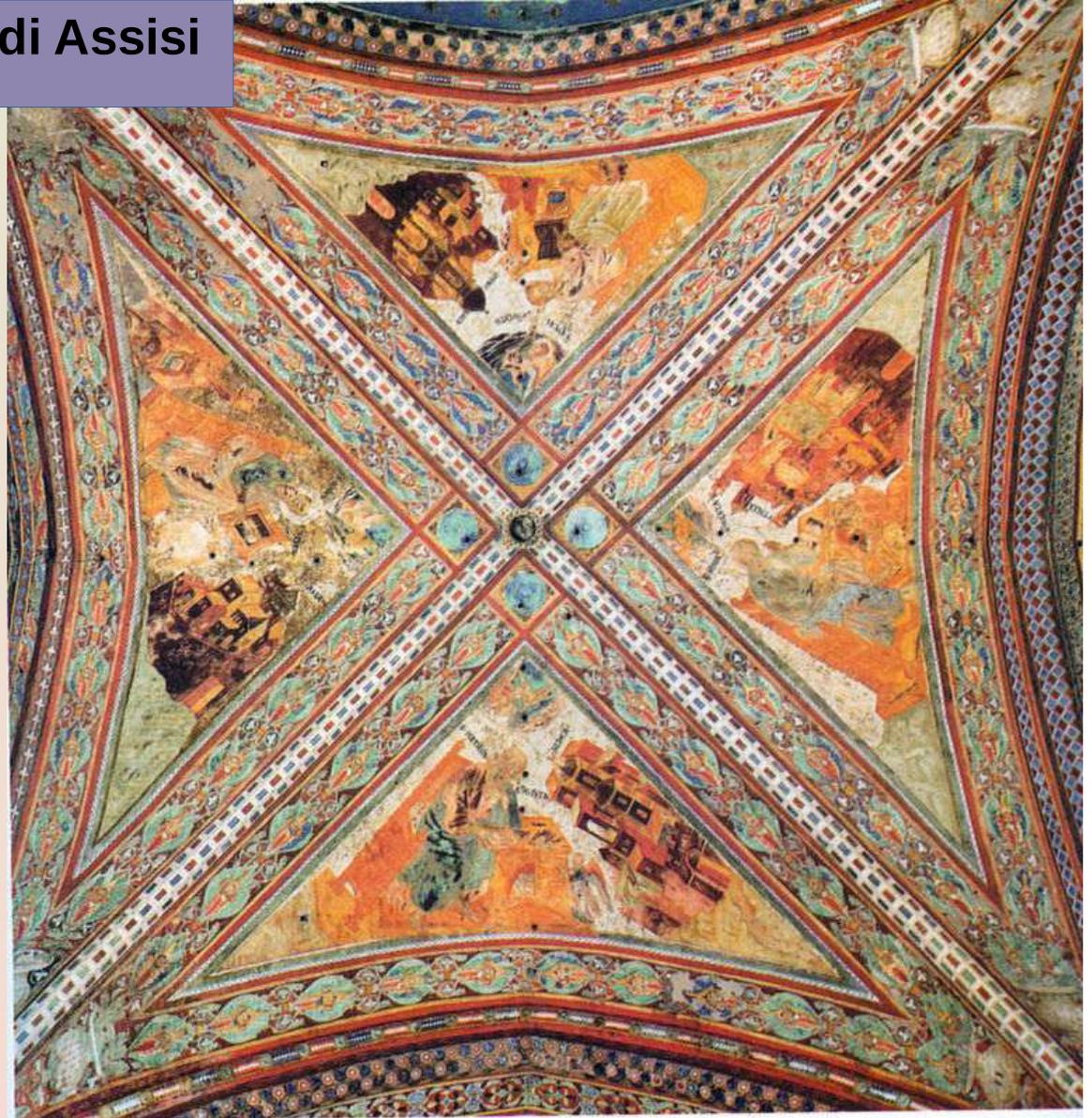
**Vela di S. Matteo** nella Volta degli Evangelisti, di Cimabue.

Vennero richiesti *strumenti informatici* per affrontare varie difficoltà:

- **Il gran numero** di frammenti: *120.000 in 880 cassette*;
- **Le loro condizioni**: *quasi monocromi (perdita d'oro dal fondo, pigmenti alterati)*. Riconoscere la zona di appartenenza era problematico.
- **Evitarne l'usura** da manipolazione per individuare la corrispondenza, *lavorando con analoghi digitali*.

Venne costruito un **archivio virtuale**:

- Consolidamento e pulitura dei frammenti;
- Posizionamento nei cassetti all'interno di un "Foam" nero;
- Acquisizione con macchina digitale dei frammenti.



# Vela di San Matteo

## Approccio alla ricomposizione virtuale

### *Ricomposizione virtuale assistita*

Obbiettivi:

- Creare un **sistema che assista l'operatore** nella ricomposizione, usando rappresentazioni digitali.
- Costruire una **mappa** che associ a ciascun frammento la sua posizione finale nell'affresco. Sarà la guida per la ricomposizione reale.

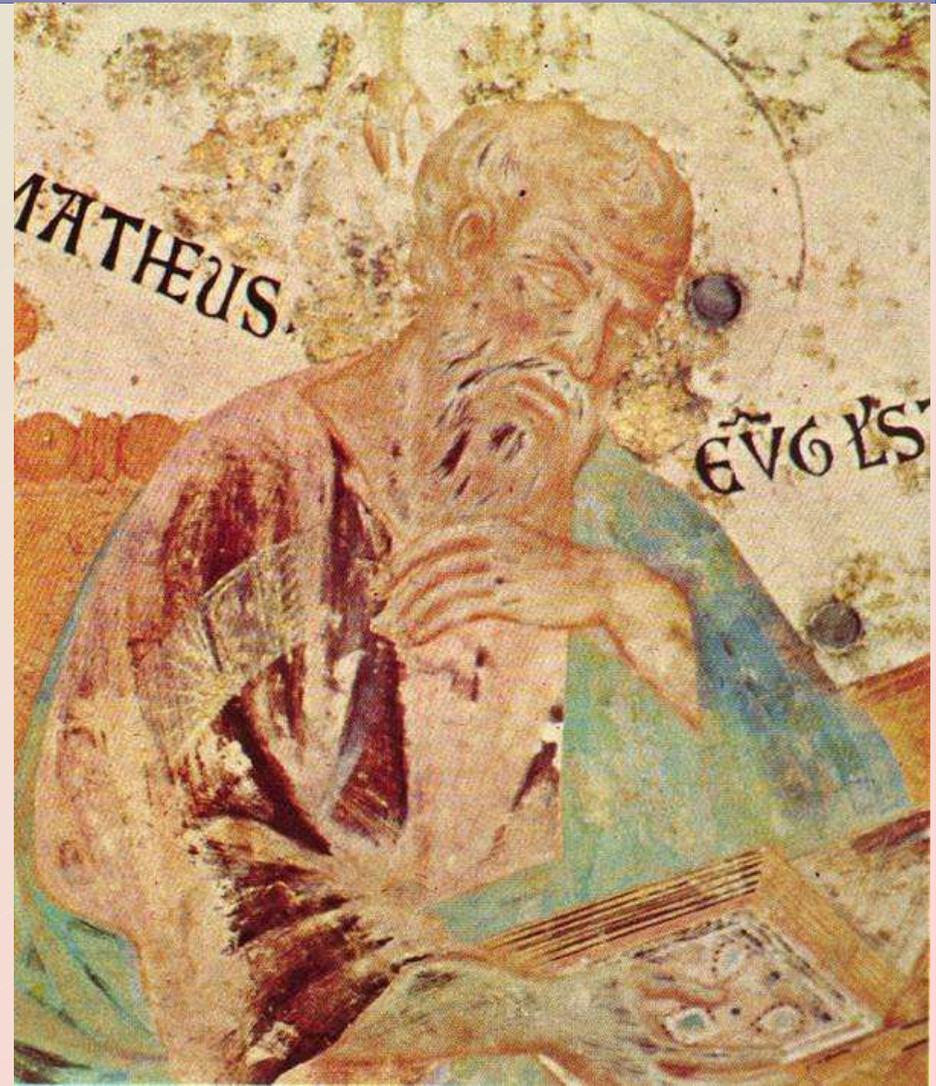
Si basa sull'interazione tra operatore e sistema:

- L'**operatore** è al centro del intero processo, attivo e strategico.
- Il **sistema**, progettato sulle esigenze del processo di ricomposizione che deve essere il più simile possibile a quello tradizionale.

L'operatore deve ricercare:

- **corrispondenza** frammento-foto.
- **attacchi** tra frammenti, per accostamento.

L'approccio scelto è basato sulla **valutazione di similarità tra immagini in generale**: il sistema è applicabile anche senza un'immagine dell'opera prima della frammentazione.



# Vela di San Matteo

## Approccio alla ricomposizione virtuale

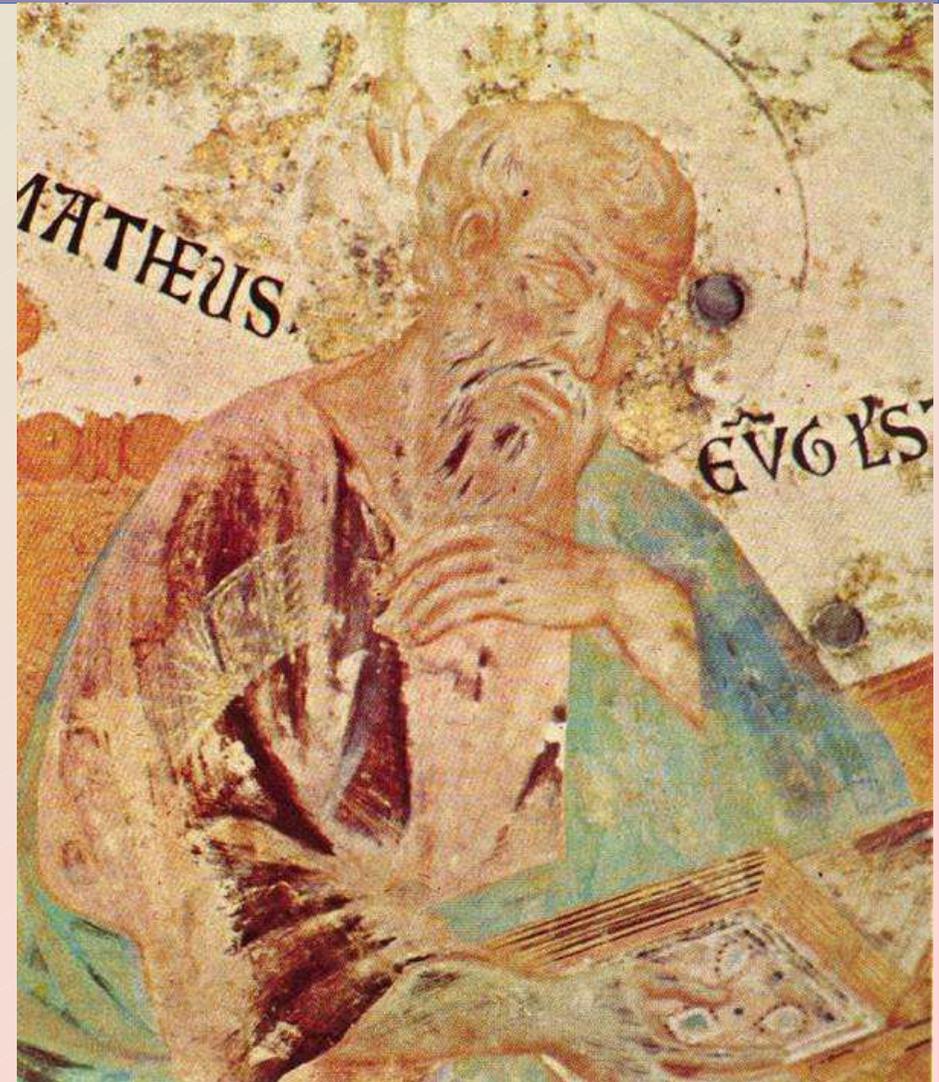
Occorre conoscere la modalità di ricomposizione tradizionale.

Parametri considerati nella **valutazione dei singoli frammenti**:

- *Morfologia degli strati preparatori: livelli, modellatura, granulometria, cariche, materiali di restauro.*
- *Colore: cromia, distribuzione, alterazioni, cretto, fessurazioni*
- Forma e dimensione
- Linee di rottura dei bordi in spessore
- Tracce del disegno

**Limiti del sistema:**

- **Alcuni parametri non sono disponibili:** la tridimensionalità e la superficie posteriore dei frammenti. Per acquisirle e gestirle digitalmente serve un'estensione del sistema.
- I **particolari semanticamente significativi** sulla pellicola pittorica, sono parzialmente alla portata del sistema. Le considerazioni semantiche sono sempre appannaggio dell'operatore. Il sistema può analizzare, comparare e gestire efficientemente solo le caratteristiche legate a colore, tessitura, contorni, forma, dimensione.



# Vela di San Matteo

## Approccio alla ricomposizione virtuale

### Passaggi fondamentali

#### 1 Classificazione iniziale dei frammenti

Gruppi con particolari omogeneità, ma abbastanza caratterizzati tra loro: già parzialmente eseguito componendo i cassetti.

Può essere condotta:

- in modo gerarchico (es. *raggruppamento in base al colore*).
- per approssimazioni successive (es. *ulteriori suddivisioni in base a: distribuzione interna, presenza di elementi grafici...*).

**NB:** i frammenti andranno analizzati più volte, effettuando selezioni più fini per caratteristiche che emergeranno a processo di ricomposizione già avviato.

#### **Svantaggi senza i mezzi informatici:**

- Riesame dei frammenti fisici innumerevoli volte.
- Operazioni manuali lunghissime.
- Valutazioni difficilmente coerenti (*esame visivo di tantissimi oggetti da diversi operatori o dallo stesso per tempi prolungati*).

#### **Vantaggio nell'uso di un algoritmo di analisi:**

- risultati oggettivi, consistenti, esenti da fatica o cadute d'attenzione.



# Vela di San Matteo

## Approccio alla ricomposizione virtuale

### Passaggi fondamentali

2 Ricerca di frammenti che si collegano ad altri già collocati e consolidati per ricomporre una particolare area.

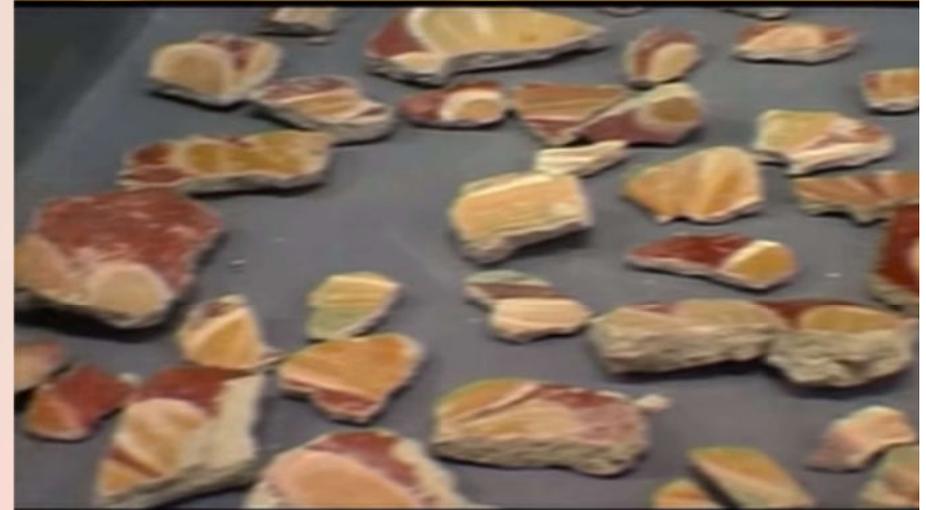
**Interrogazione**, attraverso esempi, di una *banca dati* di immagini:

- L'operatore seleziona un insieme di immagini di esempio e le fornisce al sistema di gestione del database,
- il sistema esegue su essi delle *misure* e costruisce una rappresentazione interna della interrogazione ricevuta.

Ciò permette di selezionare frammenti di potenziale interesse:

- **se soddisfano** le esigenze, si usano per la ricomposizione.
- **se non le soddisfano**, l'operatore modifica l'insieme di esempi (*aggiunge, sostituisce, elimina immagini*), formulando una nuova richiesta

**NB:** Le misure eseguite dal sistema sulle immagini, devono tener conto delle attuali conoscenze sul sistema percettivo-visivo umano.



## Architettura del Sistema

L'architettura del sistema prevede:

- **un server multi-processore centrale:**
  - ospita la banca dati dei frammenti
  - elabora le immagini.
- **una serie di stazioni pittoriche**, una per ogni operatore. Consentono:
  - l'interazione col server
  - manipolazione e restituzione delle immagini.

**1° versione** del prototipo: il server e le stazioni sono collegati in *rete locale ad alta velocità*.

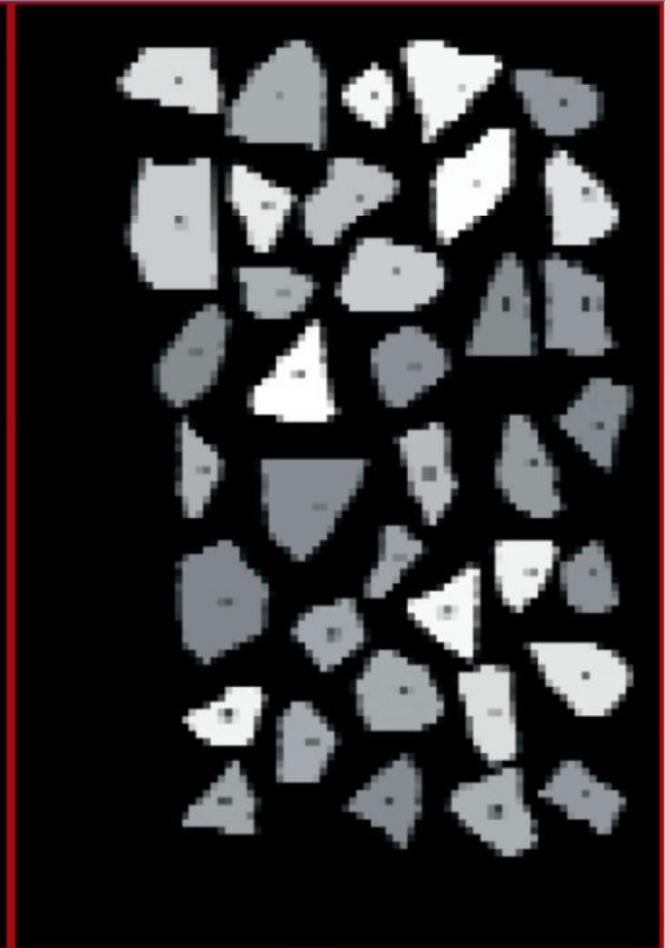
L'architettura software è creata consentendo di estenderla a configurazioni distribuite geograficamente.

**Componenti software** del sistema:

- strumenti per analisi, gestione, elaborazione di immagini
- interfaccia grafica per l'utente (GUI)



*Contenitore con frammenti fisici*



*Mapa prodotta automaticamente nel processo di estrazione delle immagini dei singoli frammenti*

## Compiti del sistema

**1° compito:** elaborare le immagini per **ridurre difformità geometriche e di colore** causate dal processo di acquisizione.

**2° compito:** costruzione della **banca dati** dei frammenti.

Il sistema deve estrarre automaticamente le immagini dei singoli frammenti dalle immagini dei cassettei (*in ognuno ci sono da 100 a 130 oggetti*).

Per ciascuno viene impostato un **identificatore univoco** che correla gli oggetti fisici (*cassetto di provenienza, posizione del cassetto*) alla loro versione digitale.

**3° compito:** **estrarre le caratteristiche visive** che descrivono il contenuto di ogni immagine (*colore, tessitura, contorni...*).

Su questi elementi è basata la **valutazione della similarità** tra frammenti e immagini di esempio selezionate dall'operatore.



### La Workstation Grafica

È l'interfaccia tra operatore e sistema.

È composta da un personal computer apposito, fornito di:

- **memoria** primaria e di massa;
- più **monitor**;
- **scheda di visualizzazione** di immagini pittoriche ad alte prestazioni;
- **joystick** particolare, permette traslazione e rotazione simultanee delle immagini digitali.



Con il **Mouse speciale** può essere simulata la naturale interazione con i frammenti reali.

La sensibilità è modulabile per consentire movimenti rapidi e macroscopico o lenti e precisi.



#### **Monitor:**

- **Sinistra:** l'area di lavoro a risoluzione piena;
- **Centro:** miniatura della vela usata per selezionare l'area di lavoro
- **Destra:** i contenitori.

## Avvio attività

L'operatore configura l'ambiente creando un **progetto di ricomposizione**:

- Identifica un'immagine di riferimento dell'affresco. Il sistema costruisce una "miniatura" visibile completamente su un singolo monitor.
- Su di essa può scegliere la parte da mostrare, a piena risoluzione, nell'area di lavoro.
- Identifica una collezione di frammenti, ciascuno descritto dall'immagine digitale e dalle caratteristiche estratte dagli algoritmi di analisi.
- Imposta dei fattori di scala: correlano l'immagine di riferimento, la sua miniatura e le immagini dei frammenti, in termini di pixel e nello spazio metrico reale.



## Elementi

- 1 Monitor primario:** ospita l'area di lavoro corrente: la versione virtuale del tavolo di lavoro.
- 2 Finestra separata** che contiene l'immagine in miniatura all'interno della quale, col mouse, selezionare l'area di lavoro.
- 3 Interfaccia** con numero variabile di finestre che ospitano i contenitori virtuali: versioni virtuali dei contenitori fisici.



Gli elementi sono progettati per consentire la ricomposizione virtuale senza stravolgere la prassi operativa: la transizione al lavoro virtuale è graduale e naturale.

**NB:** il sistema *non può riprodurre alcune delle possibilità legate all'interazione fisica*, tra cui:

- esplorazione tattile
- esame da più punti di vista, con luci diverse
- esame del retro

Le immagini digitali rappresentano solo una quantità limitata dell'informazione originaria.

# Vela di San Matteo

## Architettura del Sistema

Il **contenuto** dei contenitori può essere:

- inserito dall'operatore
- risultare da un'operazione del sistema *(es. da un'interrogazione alla banca dati)*

I **contenitori** possono essere:

- creati
- spostati sugli schermi
- distrutti
- ridimensionati

Le **immagini digitali** possono essere:

- collocate dal database al contenitore
- copiate o mosse in un altro contenitore *(lo stesso frammento può stare in più contenitori)*
- rimosse da un contenitore *(senza cancellarle dal database)*

**Operatore** col frammento può:

- trascinarlo sull'area di lavoro
- spostarlo tra contenitori

**Criteri di ordinamento** delle immagini nei contenitori:

- nome
- dimensione complessiva
- larghezza/altezza
- similarità rispetto a esempi

**Tastiera:**

- scrive testi *(es. nomi di contenitori, parametri per il progetto)*

**Mouse** tradizionale:

- muove oggetti
- riduce, ingrandisce, muove finestre
- seleziona area di lavoro attraverso la miniatura
- muove immagini tra contenitori e area di lavoro

**Joystick:**

- gestisce frammenti nell'area di lavoro
- permette traslazione e rotazione simultanea dei frammenti
- ha sensibilità controllabile
- i pulsanti in dotazione permettono l'accesso diretto ad alcune funzionalità del sistema.

# Vela di San Matteo

## Architettura del Sistema

La funzionalità base per supportare la ricomposizione è la valutazione di similarità tra le immagini, sia di frammenti che di estratti dell'intera.

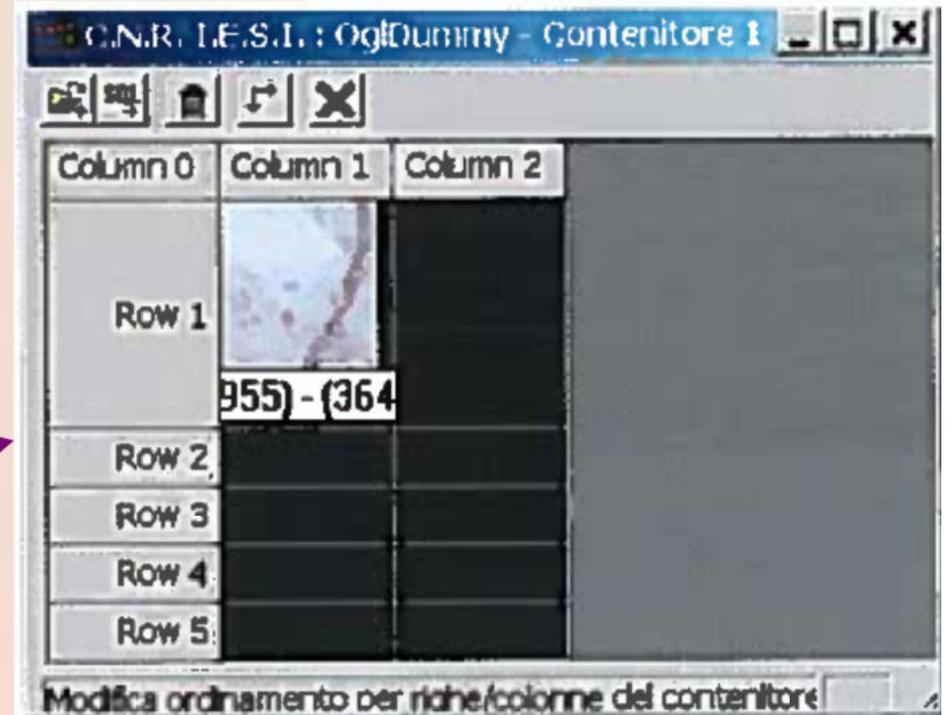
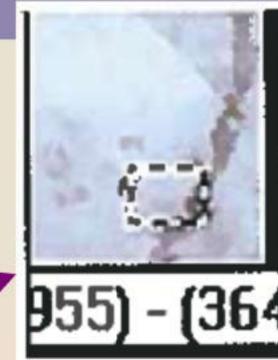
Fasi per la ricerca più comune di frammenti:

- **1** si sceglie un insieme di immagini (*rettangoli estratti dall'area di lavoro e/o frammenti selezionati nel database*)
- **2** si raccolgono in un contenitore

Il sistema restituisce frammenti simili agli esempi per colore e tessitura.

Un'apposita interfaccia esegue un affinamento dei risultati.

I risultati sono collocati in un contenitore.



# Vela di San Matteo

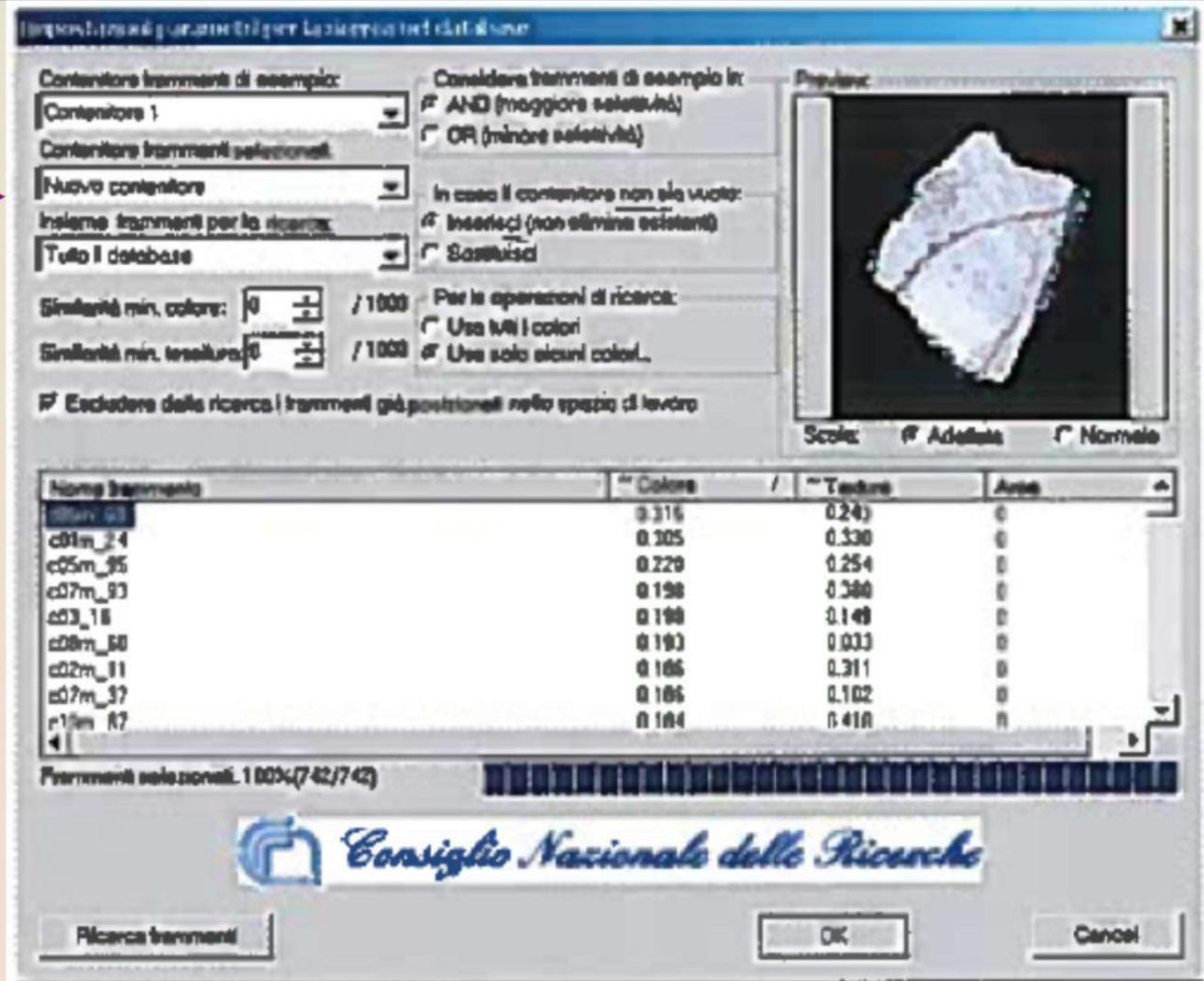
## Architettura del Sistema

Per la richiesta l'operatore può specificare un insieme di dati, con un'apposita **finestra di dialogo**:

- contenitore che contiene le immagini esempio
- contenitore che conterrà i risultati (esistente o nuovo)
- se eseguire la ricerca sull'intero database o su un contenitore

L'operatore può:

- escludere dalla ricerca frammenti già disposti nell'area di lavoro.
- decidere come valutare la similarità:
  - rispetto a tutti gli esempi: **modalità AND**
  - solo rispetto al migliore: **modalità OR**.



# Vela di San Matteo

## Architettura del Sistema

La ricerca seleziona i frammenti che soddisfano i criteri e l'operatore può ordinarli (per similarità o dimensione).

Si può modificare la soglia minima di similarità mentre la lista di frammenti si sta aggiornando, senza ripetere la ricerca.

Richiedono invece l'esecuzione di una nuova ricerca le modifiche:

- dell'insieme di esempi
- della regola di confronto AND/OR

L'operatore può:

- valutare i risultati visualizzando i frammenti a risoluzione piena.
- *Selezionarli* e inserirli nel contenitore scelto.

L'operatore ha piena responsabilità delle impostazioni di ricerca e delle modifiche dell'insieme degli esempi.

Può rifinire la richiesta fino a ottenere la risposta desiderata.

Impostazioni di ricerca - Trigrammi

Contenitore frammenti di esempio:

Contenitore frammenti selezionati:

Insieme frammenti per la ricerca:

Similarità min. colore:  / 1000

Similarità min. tessitura:  / 1000

Considera frammenti di esempio in:  
 AND (maggiore selettività)  
 OR (minore selettività)

In caso il contenitore non sia vuoto:  
 Inserisci (non elimina esistenti)  
 Sostituisce

Per le operazioni di ricerca:  
 Usa tutti i colori  
 Usa solo alcuni colori

Escludere dalla ricerca i frammenti già posizionati nello spazio di lavoro

Previsual:

Scale:  Adattata  Normale

Nome frammento	Colore	Tessitura	Area
cd01m_04	0.316	0.243	0
cd01m_04	0.305	0.330	0
cd05m_05	0.229	0.254	0
cd07m_03	0.198	0.380	0
cd03_18	0.198	0.149	0
cd08m_08	0.193	0.033	0
cd02m_11	0.186	0.311	0
cd07m_07	0.186	0.102	0
cd10m_07	0.184	0.418	0

Frammenti selezionati: 1/0004(742/742)

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Ricerca frammenti OK Cancel

# Vela di San Matteo

## Architettura del Sistema

### Ricerca della migliore collocazione per ogni frammento

- spostarlo nell'area di lavoro;
- col joystick muoverlo (ruotato o traslato) fino a ottenere la soddisfacente sistemazione.

La posizione (rotazione e traslazione) può essere calcolata dal sistema in base a **due coppie di punti** corrispondenti identificati sul frammento e sull'area di lavoro col mouse.



*L'evoluzione della ricomposizione dell'area selezionata collocando i frammenti derivati dalla interrogazione.*

## Vela di San Matteo

### Architettura del Sistema

*Per facilitare questa fase:* il frammento può essere reso **parzialmente trasparente**, a diversi livelli, per permettere il confronto con il fondo sull'area di lavoro.

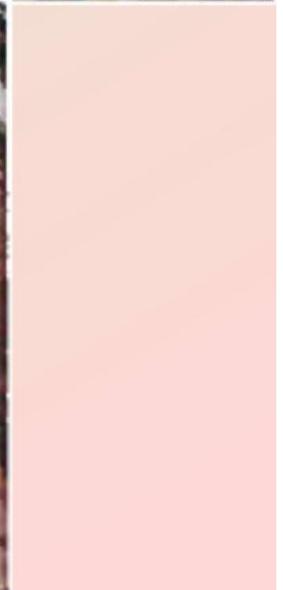
Sono modificabili anche **luminosità** e **contrasto** dell'immagine di riferimento, per migliorare riconoscimento.



*Le immagini mostrano come la semitrasparenza aiuti a valutare meglio la similarità tra frammento ed area sottostante e la miglior posizione ed assetto.*

*È stato utilizzato uno dei 6 mattoni di cui è disponibile al momento la posizione nella vela di S. Matteo.*

*Questi elementi di corrispondenza tra frammenti e vela sono stati usati per estrapolare le **correzioni di colore sull'immagine intera** della vela.*



# Vela di San Matteo

## Architettura del Sistema

Il processo di ricomposizione può essere interrotto e ripreso, **salvando** lo stato corrente del progetto

Può essere abilitato il **salvataggio automatico** a intervalli regolari, per prevenire perdite dovute a cause accidentali.

La *ricomposizione finale* può essere **stampata** e usata **come mappa** per guidare la collocazione dei frammenti reali.

Gli identificativi univoci dei frammenti permettono l'immediato recupero del corrispondente fisico dai cassetti.

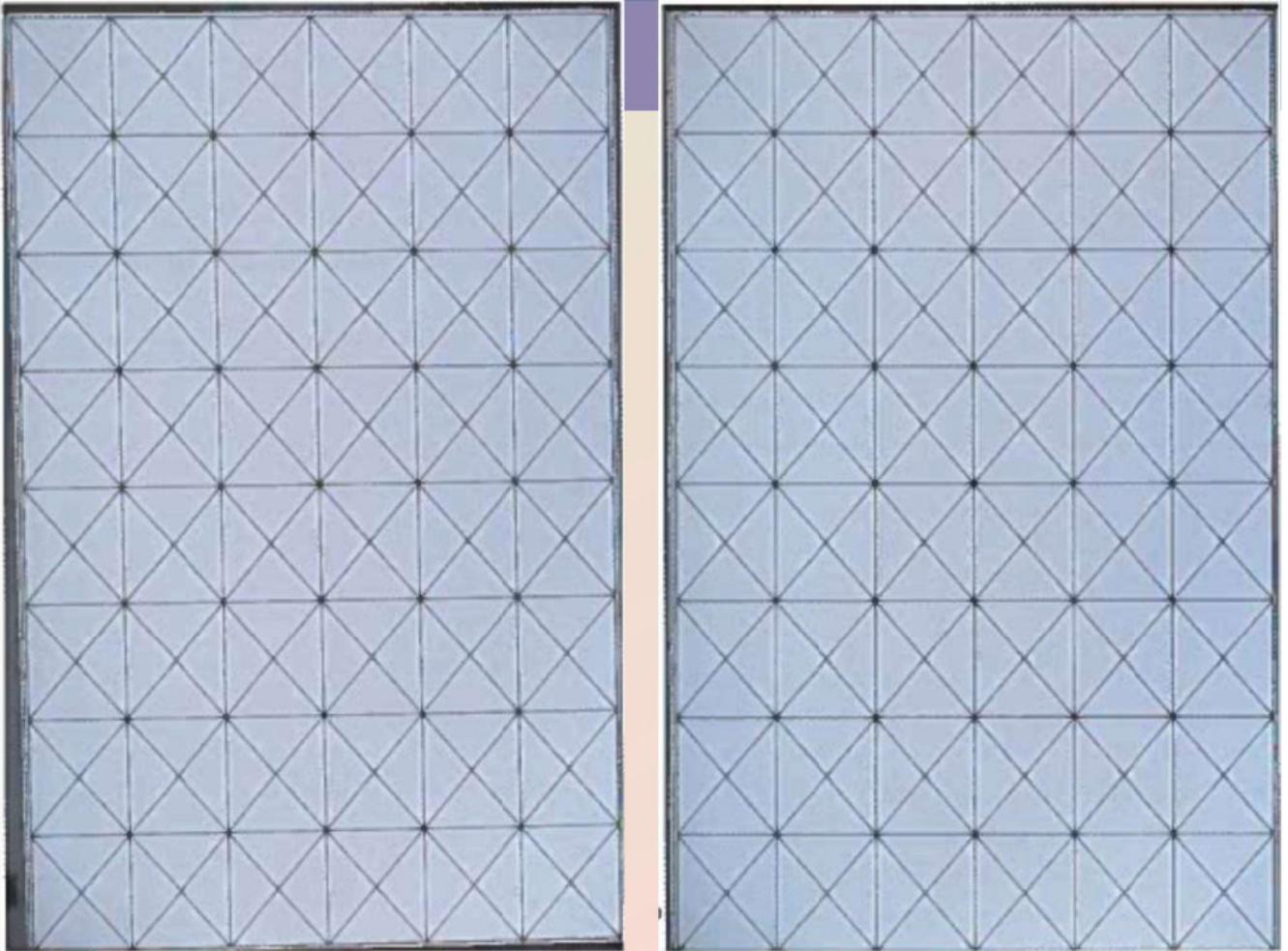


La ricerca ha interessato lo **studio e la messa a punto di strumenti** per:

- massimizzare l'omogeneità tra le immagini disponibili e costruire la banca dati di immagini dei frammenti
- costruire una funzione di similarità tra immagini coerente con le valutazioni dell'operatore.

I **Frammenti** sono acquisiti in condizioni controllate, è dunque possibile la **correzione di differenze**:

- radiometriche,
- colorimetriche,
- geometriche



**Uno dei grigliati di riferimento:** la distorsione introdotta in fase di acquisizione, percepibile nella 1° immagine, è stata corretta nella 2°.  
Applicare la stessa correzione a tutte le immagini dei cassetti o dei mattoni cui il grigliato si riferisce permette di eliminare gli effetti di deformazione.

# Vela di San Matteo

## Funzionalità del Sistema

### Vela prima della frammentazione:

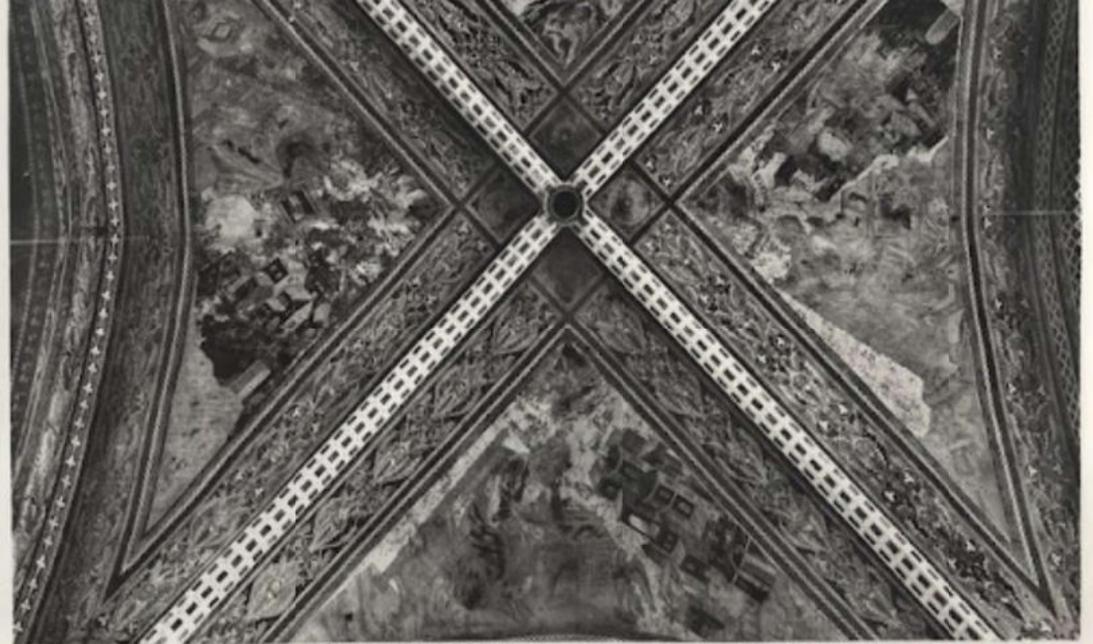
Le immagini disponibili, se esistenti, sono acquisite per fini diversi dalla conservazione, dunque **non hanno**:

- **riferimenti necessari alla correzione**
- memoria delle condizioni ambientali
- memoria delle caratteristiche della strumentazione.

Le correzioni necessarie:

- effetti indotti dalla proiezione di una superficie curva tridimensionale su un piano 2D
- effetti di luce e di colore

Si possono formulare delle ipotesi solo attraverso il **riconoscimento e la ricollocazione di alcuni frammenti** (per il loro contenuto pittorico fortemente caratteristico).



Per creare la **banca dati di immagini** dei singoli frammenti è stato messo a punto *algoritmo per estrarle dalle immagini dei cassettei*, combinando le informazioni:

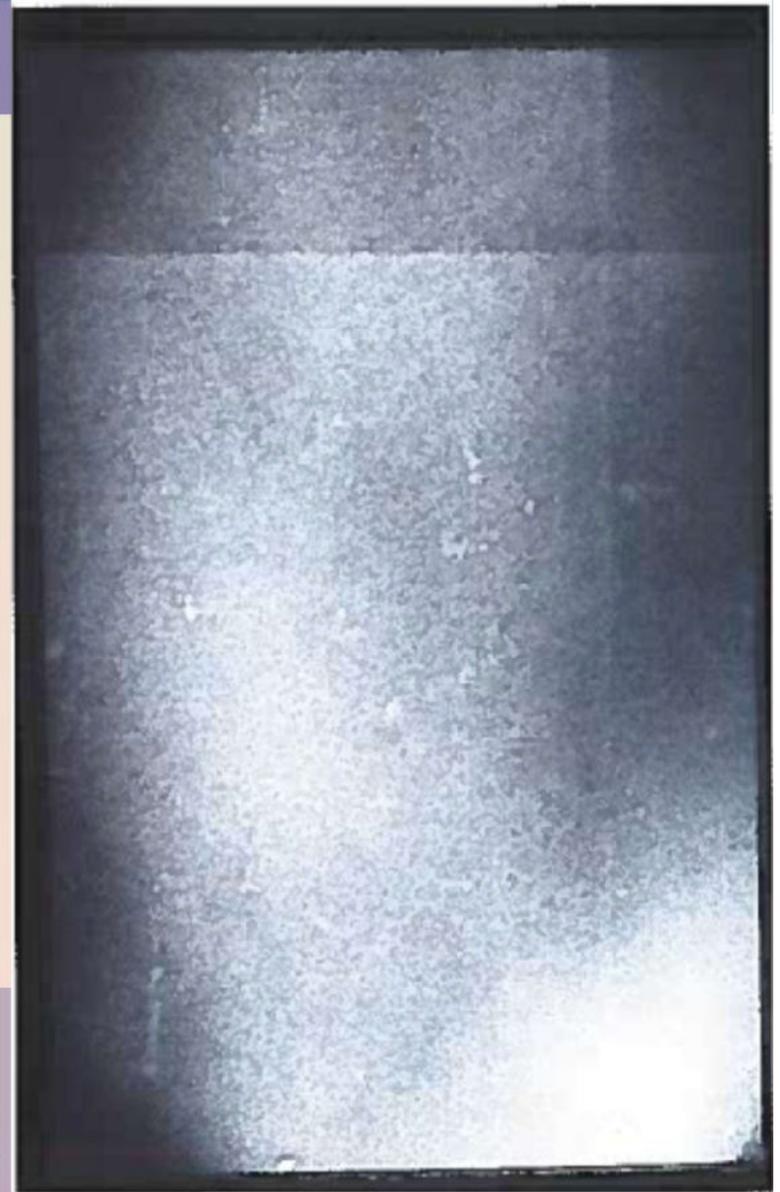
- **cromatica** su frammenti e sfondo
- legata ai loro **contorni**

Per un'efficiente valutazione di similarità tra le immagini, occorre che la **misura di similarità sia compatibile con le valutazioni dei restauratori**.

La compatibilità tra sistema e spazio percettivo dell'operatore ha guidato:

- la scelta delle caratteristiche su cui basare la valutazione (**colore, tessitura, segni di restauri precedenti, di deterioramento**)
- la selezione dei metodi per misurarle sulle immagini.

**Uno dei fogli bianchi di riferimento per valutare l'uniformità di illuminazione.**  
*Le difformità possono condizionare molto la valutazione delle similarità di colore. Esistono anche se le immagini acquisite, viste direttamente, appaiono uniformemente bianche: in foto sono state evidenziate per aumentarne la leggibilità.*



## Lo spazio di colore S-CIELab

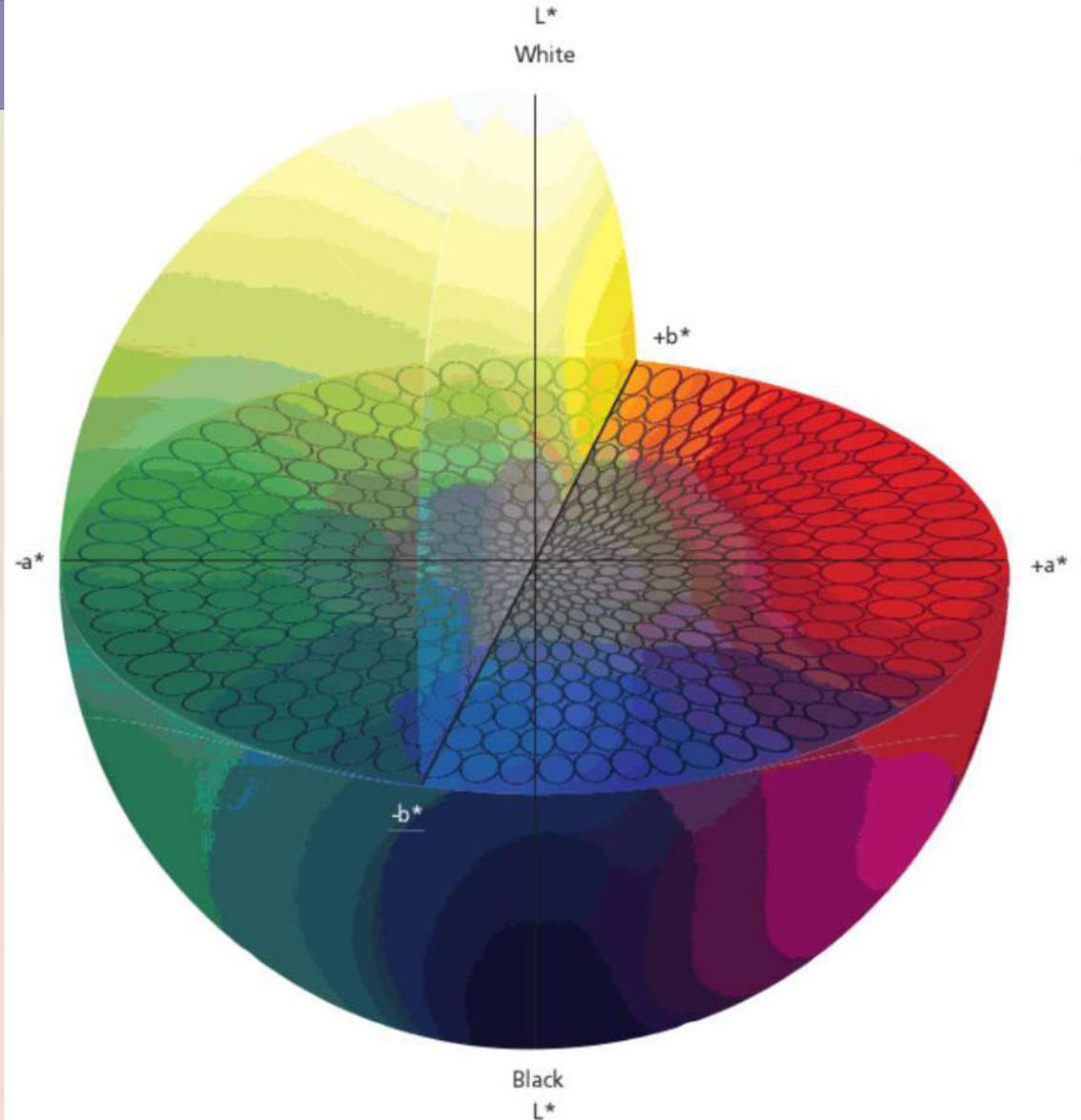
Per migliorare l'accordo tra la percezione visiva umana e il sistema, è stata scelta inizialmente la metrica **CIELab**

Rapporta le misure fisiche eseguibili sulle immagini alle differenze percettive.

**Svantaggio:** è ricavata da studi sulla discriminazione del colore su *larghe regioni di colore uniforme*.

*È dimostrato che discriminazione e percezione del colore dipendono dalla struttura spaziale dell'immagine.*

*Dunque:* la metrica CIELab genera un errore di predizione se applicata a immagini *finemente strutturate* come quelle dei frammenti.



## Metrica S-CIELab

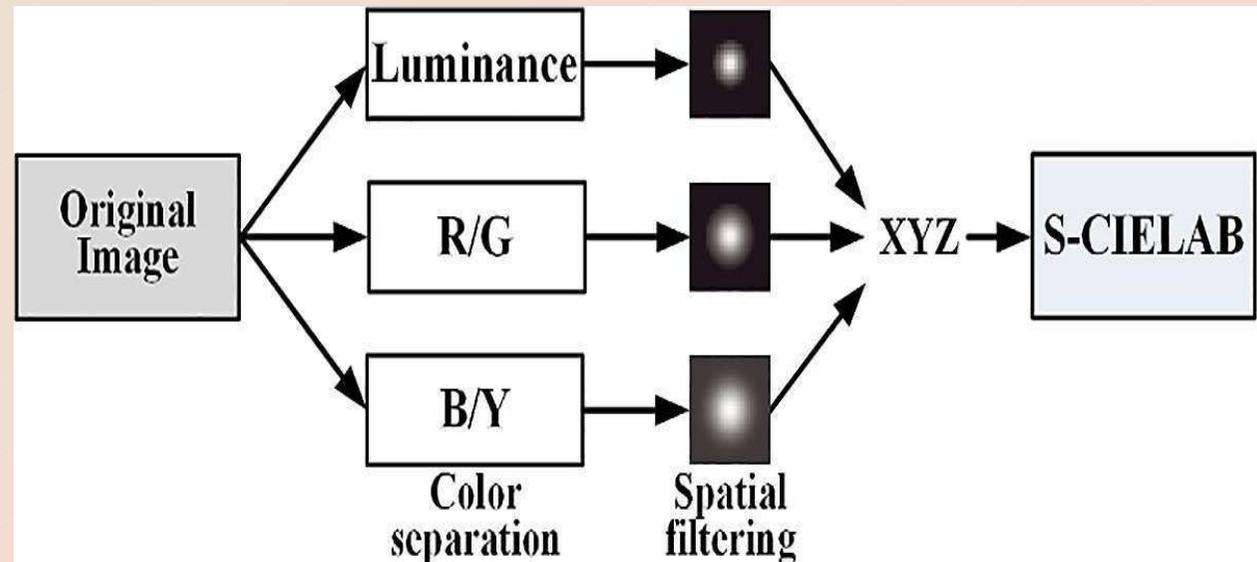
Estensione spaziale della rappresentazione CIELab, introdotta da Zhang e Wandell. Riproduce le distanze del colore percepite anche in distribuzioni spaziali complesse.

Rappresenta l'influenza della distribuzione spaziale sul colore percepito, applicando un **filtraggio spaziale** alle immagini a colori: simula lo sfocamento spaziale che l'occhio umano esegue normalmente.

Riduce molto l'errore predittivo delle rappresentazioni numeriche.

Ogni piano nello spazio dei colori oppONENTI (*le 3 dimensioni: luminanza, rosso-verde, blu-giallo*) viene filtrato in accordo con la **sensibilità spaziale dell'occhio umano**, quindi le componenti per cui l'occhio umano è:

- meno sensibile, vengono **ridotte**
- non visibili, completamente **cancellate**.



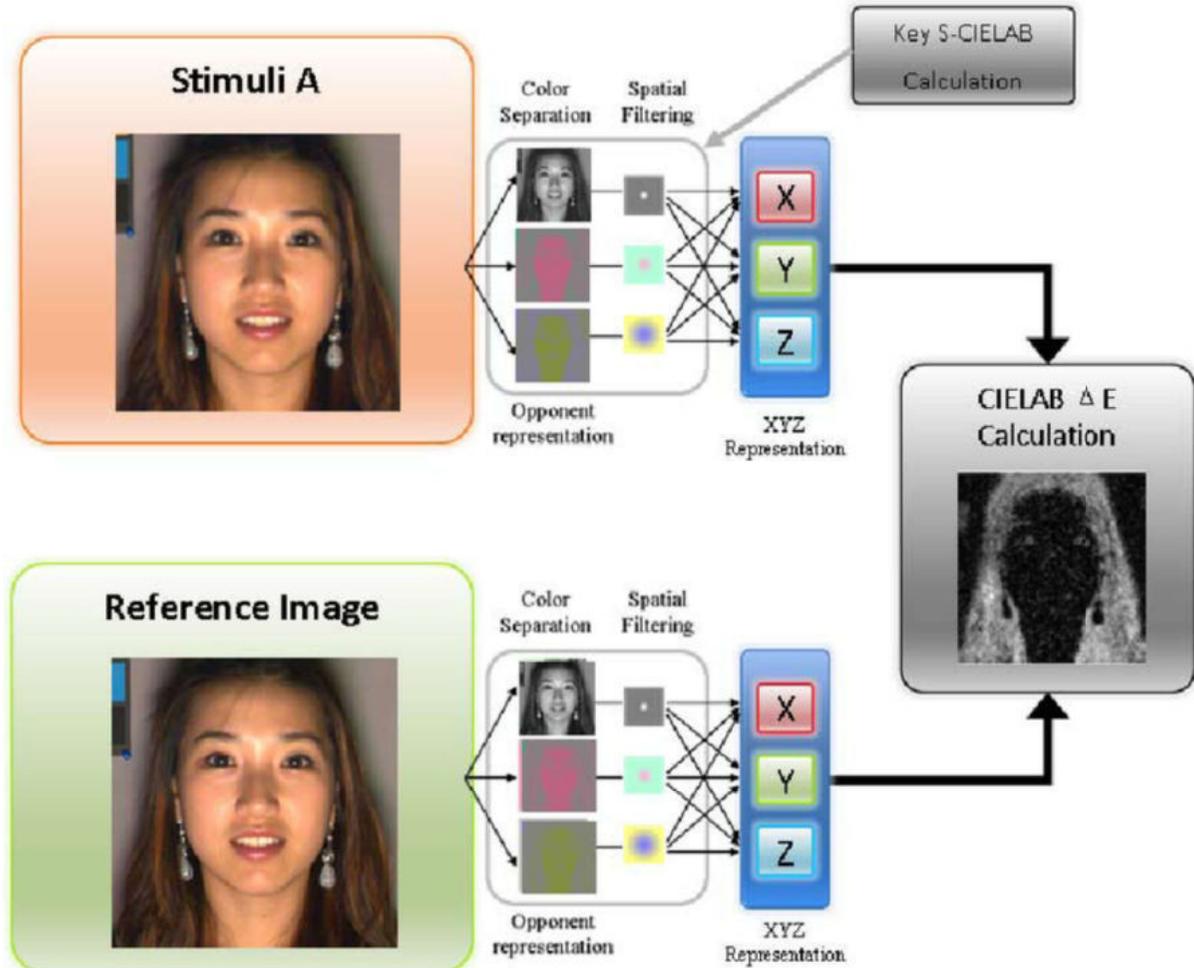
La rappresentazione viene trasformata nello spazio di colore **XYZ** cui viene applicato il procedimento CIELab. Si ottiene così la rappresentazione S-Cielab dell'immagine.

La configurazione di S-CIELab produce un algoritmo modulare: i parametri sono determinati da misure sperimentali sull'adattamento del colore nel sistema visivo umano eseguite da *Poirson e Wandell*.

L'algoritmo è basato su un'architettura **pattern-color separabile**, caratteristica rilevata in studi nella rappresentazione visiva umana di semplici strutture colorate.

La scelta di S-CIELab ha prodotto **2 risultati**:

- approssimare meglio le valutazioni di similarità degli operatori nel confronto degli istogrammi
- presentare i colori misurati con una tavolozza compatibile e plausibile con i colori percepiti dall'occhio.



Esperimenti per testare l'affidabilità di S-CIELab:

### 1° Esperimento

- **Estratte delle piccole aree** da alcuni frammenti, rappresentati nello spazio cielab, con caratteristiche uniformi di colore e tessitura percepiti.
- Per ciascuna è stata costruita **l'area corrispondente costituita da un singolo colore**, tale da fornire la stessa impressione visiva.
- I valori **Lab** di quest'ultima sono **i valori attesi di riferimento** per la regione estratta.
- Per ogni area è stata considerata la rappresentazione nello spazio S-CIELab.

Da ogni area sono ricavati **2 istogrammi** da confrontare coi valori LAB attesi:

- 1 nello spazio CIELab
- 1 nello spazio S-CIELab

TABELLA 1

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
35	6	54	14	0	1156
34	7	53	38	174	0
35	7	53	16	166	0
34	7	52	86	153	0
36	7	53	7	102	0
35	7	52	17	59	0
33	7	53	4	56	0
35	6	53	42	44	0
34	6	53	45	37	0
32	7	52	10	34	0
34	6	52	65	33	0
37	7	53	8	28	0
33	6	52	38	26	0
36	6	53	41	21	0

TABELLA 2

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
49	9	53	2022	0	2304
48	9	53	0	2187	0
47	9	52	1	12	0
47	10	53	1	5	0
47	9	53	0	5	0
48	10	53	1	2	0
49	8	53	117	0	0
49	9	52	83	0	0
49	10	53	30	0	0
49	8	52	12	0	0
49	10	52	12	0	0

# Lo spazio di colore S-CIELab

Esperimenti per testare l'affidabilità di S-CIELab:

## 1° Esperimento

### Osservazioni

- S-CIELab genera un **istogramma più compatto**
- la tavolozza S-CIELab ha colori **più vicini alla percezione** umana
- I pixel nello spazio S-CIELab sono associati a **pochi colori** con una distanza da quello percepito molto vicina alla minima differenza apprezzabile ( $\Delta E = 1$ )

*L'affresco ha molte strutture spaziali articolate, con colori distribuiti nello spazio: la percezione visiva è spesso lontana dai colori che contribuiscono a crearla.*

### Svantaggi dell'uso di CIELab per la Vela di San Matteo:

- Istogrammi richiedono gran numero di colori per coprire una parte significativa delle regioni.
- Anche quelli poco percepiti entrano nell'istogramma e influenzano la ricerca, rendendola meno selettiva.

*In CIELab i colori sono distribuiti e molti sono più lontani dal colore percepito.*

TABELLA 1

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
35	6	54	14	0	1156
34	7	53	38	174	0
35	7	53	16	166	0
34	7	52	86	153	0
36	7	53	7	102	0
35	7	52	17	59	0
33	7	53	4	56	0
35	6	53	42	44	0
34	6	53	45	37	0
32	7	52	10	34	0
34	6	52	65	33	0
37	7	53	8	28	0
33	6	52	38	26	0
36	6	53	41	21	0

TABELLA 2

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
49	9	53	2022	0	2304
48	9	53	0	2187	0
47	9	52	1	12	0
47	10	53	1	5	0
47	9	53	0	5	0
48	10	53	1	2	0
49	8	53	117	0	0
49	9	52	83	0	0
49	10	53	30	0	0
49	8	52	12	0	0
49	10	52	12	0	0

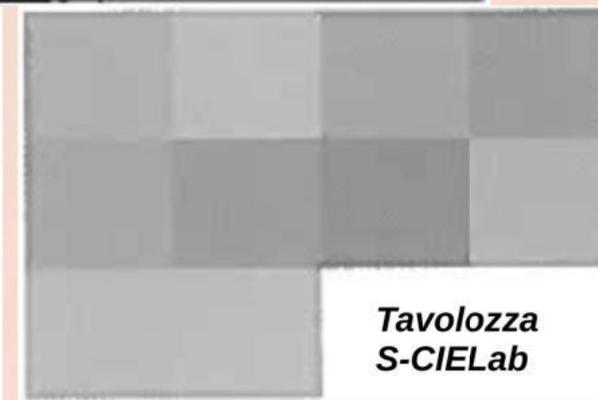
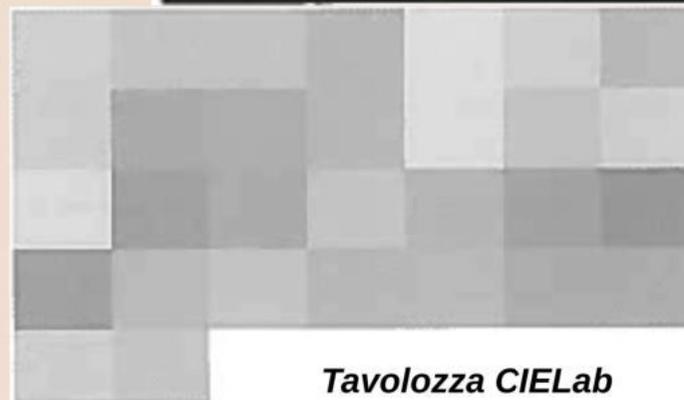
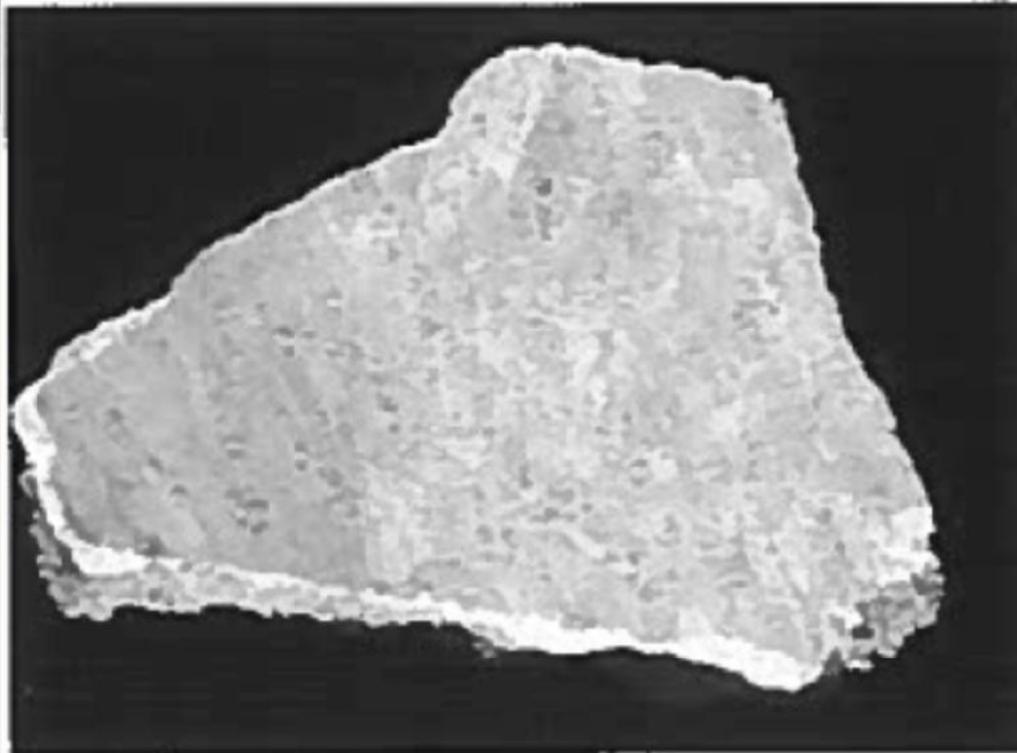
**Esperimenti** per testare l'affidabilità di S-CIELab:

## 2° Esperimento

**La ricerca dei frammenti nel database usando le due metriche**

Sono stati fatti test su 3 aree dell'immagine di riferimento

- Eseguita la **ricerca di frammenti nel database**, in entrambi gli spazi del colore, per valori differenti della soglia di similarità.
- Tale soglia esprime la minima similarità tra frammenti richiesta dall'operatore attraverso l'interfaccia utente proposta (*il valore può essere fissato nell'intervallo [0.001,1]*).
- All'aumentare della soglia:
  - cresce la similarità fra *immagine fornita da esempio e frammenti*,
  - diminuisce il numero dei frammenti restituiti dalla ricerca.



Esperimenti per testare l'affidabilità di S-CIELab:

## 2° Esperimento

Risultato:

- Maggiore selettività: La ricerca con S-CIELab dà meno frammenti, molti realmente relazionati con l'area.
- La percentuale di frammenti restituiti dal sistema poi validati dal restauratore è sempre maggiore. In 2 delle 3 aree mostrate si è riscontrato un aumento significativo del numero di frammenti posizionati correttamente.
- In alcuni casi ha consentito il corretto riposizionamento di frammenti che non erano mai stati riconosciuti in precedenza come appartenenti alle aree di interesse.
- All'aumentare del valore di soglia tende a scartare i frammenti non riconducibili all'area di interesse.



**Copia dell'affresco**

**Sopra:** prima

**Sotto:** dopo

la ricomposizione  
con S-CIELab:  
posizionati 6  
frammenti



**TABELLA 3**

Area 2	CIELAB			S-CIELAB		
	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]
Similarità > 0.001	90 out of 735			12 out of 733	6	50
Similarità > 0.002	82 out of 735					
Similarità > 0.020	10 out of 735	4	40			

*Per il valore minore, S-CIELab restituisce un numero di frammenti quasi di un ordine di grandezza più piccolo rispetto a CIELab.*

Esperimenti per testare l'affidabilità di S-CIELab:

**NB:**

I risultati ottenibili con entrambe le metriche possono essere influenzati da **fattori incontrollabili**.

Il restauratore è responsabile dell'intero processo: bisogna tener conto della sua **soggettività** nella valutazione dei risultati della ricerca restituiti dal sistema, fattore non facilmente quantificabile e controllabile.

Le tavolozze di riferimento CIELab e S-CIELab dell'intero affresco usate nei test di similarità coprono solo una percentuale di tutti i colori presenti nei frammenti. Nei test sono stati **scelti i colori più rappresentativi**, che coprono il 90% dell'affresco.



**Copia dell'affresco**  
**Sopra:** prima  
**Sotto:** dopo  
 la ricomposizione  
 con S-CIELab:  
 posizionati 6  
 frammenti



**TABELLA 3**

Area 2	CIELAB			S-CIELAB		
	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]
Similarità> 0.001	90 out of 735			12 out of 733	6	50
Similarità> 0.002	82 out of 735					
Similarità> 0.020	10 out of 735	4	40			

*Per il valore minore, S-CIELab restituisce un numero di frammenti quasi di un ordine di grandezza più piccolo rispetto a CIELab.*

## Considerazioni finali sulla metodologia

L'approccio proposto si basa su **stretta cooperazione tra sistema digitale e operatore**.

*Il sistema espande le capacità dell'operatore, in un'architettura centrata su di esso.*

**L'operatore** è primario, responsabile dell'intero processo; usa gli strumenti digitali per aumentare l'efficienza e l'efficacia del suo lavoro.

Usa la *workstation* per eseguire compiti che, tradizionalmente, potrebbero essere inefficienti e/o inefficaci.

Nel sistema sono integrati strumenti di **emulazione delle valutazioni di similarità umane**, che forniscono una naturale transizione dal lavoro dal mondo reale a quello virtuale.

Gli strumenti automatici di valutazione di similarità visiva tra immagini forniscono un aiuto potentissimo. Attraverso esempi possono essere cercati oggetti con particolari caratteristiche.



### Vantaggi per il lavoro:

- Si può far riferimento a dati **oggettivi**, evitando discrepanze dovute alle inconsistenze di un operatore nel tempo o alle valutazioni effettuate da diversi operatori.
- Si evita il **reiterato esame** degli oggetti fisici, dannoso per i frammenti.
- Si riduce il **dispendio di tempo**: l'operatore ottiene, in brevissimo, gruppi coerenti di frammenti su cui lavorare.
- Diminuiscono i **costi**.



## Considerazioni finali sulla metodologia

### Vantaggi per il lavoratore

L'efficacia e l'efficienza dell'attività quotidiana degli operatori migliorano.

- Si evita che l'operatore debba **esaminare l'intera collezione** di frammenti.
- Le funzioni accessorie agevolano lo studio del frammento e della sua collocazione (*es. ingrandimento, trasparenza, uso diretto di coordinate geometriche*).
- Elimina i **"tempi di disturbo"** e il **"frastuono di fondo"**: elimina la difficoltà di lavorare, specie una superficie vastissima, dividendosi tra cassetta, frammento, piano di lavoro.
- La **concentrazione** è agevolata dal muoversi all'interno di uno spazio 2D.
- La ricomposizione virtuale fornisce immediatamente la **restituzione pittorica della superficie dipinta ricomposta**, informazione importante per i restauratori, specie in presenza di configurazioni particolari come le superfici curve.



## Considerazioni finali sulla metodologia

### Conclusioni

La prima dimostrazione, ha ottenuto un'incoraggiante accettazione dalla comunità addetta alla ricomposizione. Le impressioni degli addetti, confermano che gli strumenti informatici possono e *devono* essere elementi complementari al bagaglio di conoscenze dell'operatore.

Ora il sistema evolve verso la versione finale dotata di tutte le funzionalità richieste dai complessi affreschi della vela di S. Matteo.

Il risultato sarà sempre integrabile con i nuovi strumenti che la ricerca scientifica renderà disponibili.





**Fine**