

# DIAGNOSTICA PER I BENI CULTURALI

MEDIA, ARTI, CULTURE (LM-65)

Università di Teramo

Cecilia Paolini

Università di Teramo



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

*Facoltà di Scienze della Comunicazione*

*XXV Lezione*  
**INTELLIGENZA ARTIFICIALE**  
**SUL FALSO COLORE**

# *INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE*

L'uso dell'Intelligenza Artificiale è stato spesso associato al riconoscimento dell'autografia di un'opera d'arte, poiché, attraverso l'analisi di confronto tra due dipinti, di cui uno sicuramente autografo e l'altro da attribuire, si pretende che l'Intelligenza Artificiale possa riconoscere il falso dal vero. Sfortunatamente, queste teorie sono da considerare totalmente infondate e utopistiche, poiché un'opera d'arte non è creata da un algoritmo riconoscibile e perennemente uguale a se stesso, quindi non risponde alle stesse leggi della scienza informatica. L'applicazione fallace di tale processo si smaschera facilmente con alcuni esempi: è sufficiente che un artista sia ambidestro (come nel caso di Picasso) o che per qualche ragione cambi la mano con cui dipinge, cambiando, di conseguenza, l'orientamento delle pennellate (come Renoir che negli ultimi venti anni della propria vita era affetto da artrite reumatoide) perché l'Intelligenza Artificiale riconosca come non compatibile (dunque falso) un manufatto certamente autografo.



# *INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE*

Non solo, pensare che l'Intelligenza Artificiale possa distinguere i dipinti autografi dalle falsificazioni attraverso il brutale confronto delle pennellate è logicamente errato nei casi di vere e proprie imprese artistiche, come nel passato era usuale, per esempio nel caso delle botteghe di Raffaello Sanzio, Giuseppe Cesari (detto il Cavalier d'Arpino) o Peter Paul Rubens: questi maestri, infatti, erano circondati da allievi che preparavano e abbozzavano le idee del maestro e da collaboratori specializzati che realizzavano alcune parti della composizione (come gli animali, i fiori o le grottesche...); solo una parte dei dipinti di questi grandi pittori del passato era eseguita per intero dalla unica mano del maestro, ma tutte le opere che uscivano dalla loro "impresa" erano vendute e giudicate come autografe: in questi casi, l'Intelligenza Artificiale giudicherebbe come prodotto di falsificazione (poiché non corrispondente al ductus del maestro) la maggior parte della produzione!



*LIMITI DELL'USO  
TRADIZIONALE DELLA AI PER  
LA DIAGNOSTICA ARTISTICA*

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

Se l'Intelligenza Artificiale non potrà mai sostituire il giudizio critico umano, tantomeno la ricerca storica per la ricostruzione della provenienza di un manufatto, può altresì essere un valido aiuto nell'analisi diagnostica dei beni culturali e in tale ambito deve essere indirizzata la ricerca. Grazie a un progetto dell'Università di Teramo, in collaborazione con FINAIS (Fine Art International Switzerland) e l'Università di Roma Tor Vergata, sono stati sottoposti alcuni dipinti, in via sperimentale, a una tecnica diagnostica non invasiva che prevede l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale per l'analisi del Falso Colore.



**NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

*Facoltà di Scienze della Comunicazione*

**CONSIDERATIONS ON COMPOSITIONAL MATERIALS THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR INFRARED FALSE COLOR PHOTOGRAPHY (IRFC) AND ULTRAVIOLET FLUORESCENCE FALSE COLOR PHOTOGRAPHY (UVFC)**

IRFC Photos 18, 19, 20, 22  
UVFC Photos 14, 21

To identify the pigments used throughout the extension of the pictorial surface, in addition to Raman and XRF analysis, we proceeded with the analysis of the False Color both through the IR radiation and by UV radiation for a more detailed comparison. The images obtained in False Color were subsequently analyzed with the Artificial Intelligence System.

From the analysis of False Color through infrared and ultraviolet radiation, the following table of color concordances can be deduced:

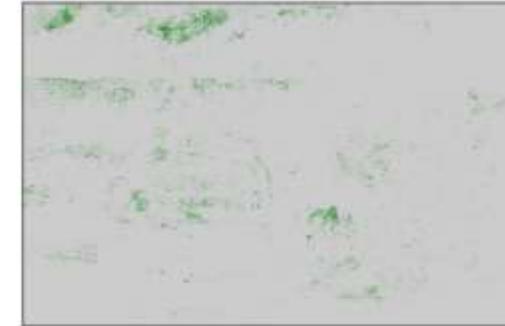
VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
	Pale Light Blue	Pale Salmon	Lead White (Bianca) $(PbCO_3) \cdot 2Pb(OH)_2$
	Yellow	Pink	White Zinc (zinc oxide) ZnO
	Yellow/Beige	Purple	Cadmium yellow (cadmium sulfide) CdS
	Intense Yellow	Blue	Cinnabar (mercury sulfide) HgS
	Blue	Green	Prussian Blue (ferrous ferrocyanide) $Fe(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3 \cdot 6H_2O$
	Red	Deep Violet	Green Chrome (III)-oxide $Cr_2O_3$
	Green	Deep Violet	Raw Umber (Hydrated iron oxide) $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiAl_2O_3$

Pigment, Percentage	Pigment, Percentage
01 WHITE PIGMENTS: Lead White (Bianca) $(PbCO_3) \cdot 2Pb(OH)_2$	White-Lead, 7.190941710733603
01 WHITE PIGMENTS: White Zinc (zinc oxide) ZnO	White-Zinc, 2.0755971707070744
02 YELLOW PIGMENTS: Cadmium yellow (cadmium sulfide) CdS	Yellow-Cadmium, 6.899335350870018
03 RED PIGMENTS: Cinnabar (mercury sulfide) HgS	Red-Cinnabar, 13.23266196698368
04 BLUE PIGMENTS: Prussian Blue (ferrous ferrocyanide) $Fe(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3 \cdot 6H_2O$	Prussian-Blue, 13.603476200693137
05 GREEN PIGMENTS: Green Chrome (III)-oxide $Cr_2O_3$	Green-Chrome, 5.094355204205454
06 BROWN PIGMENTS: Raw Umber (Hydrated iron oxide) $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiAl_2O_3$	Brown-Umber, 3.3141094408941962

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE



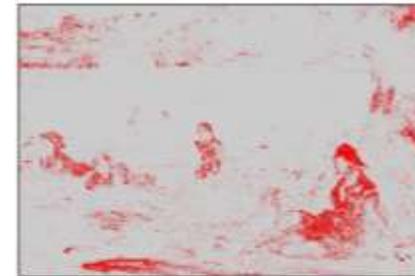
02 YELLOW PIGMENTS: Cadmium yellow (cadmium sulfide) CdS



05 GREEN PIGMENTS: Green Chrome (III)-oxide  $Cr_2O_3$



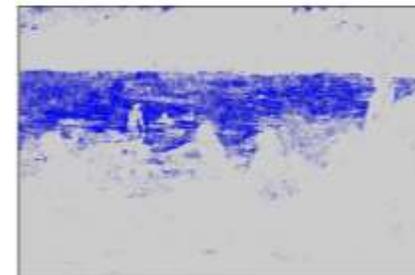
01 WHITE PIGMENTS: Lead White (Bianca)  $(PbCO_3) \cdot 2Pb(OH)_2$



03 RED PIGMENTS: Cinnabar (mercury sulfide) HgS



06 BROWN PIGMENTS: Raw Umber (Hydrated iron oxide)  $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiAl_2O_3$



04 BLUE PIGMENTS: Prussian Blue (ferrous ferrocyanide)  $Fe(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3 \cdot 6H_2O$



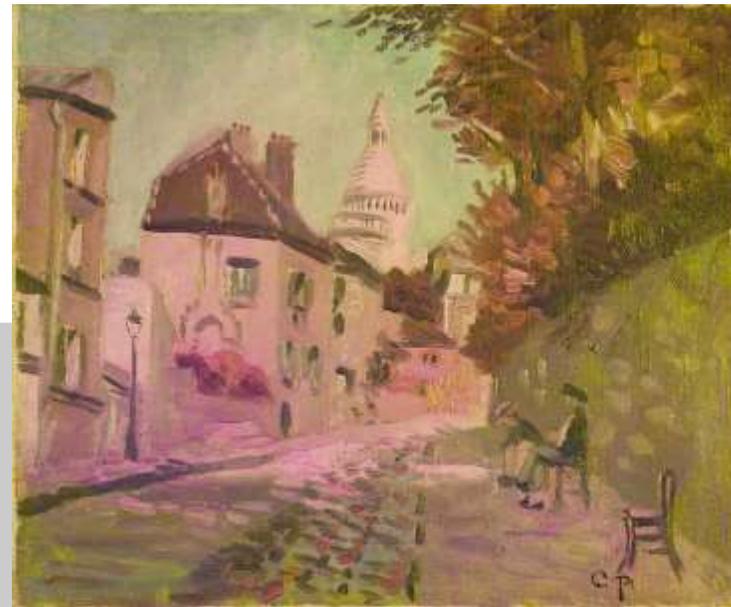
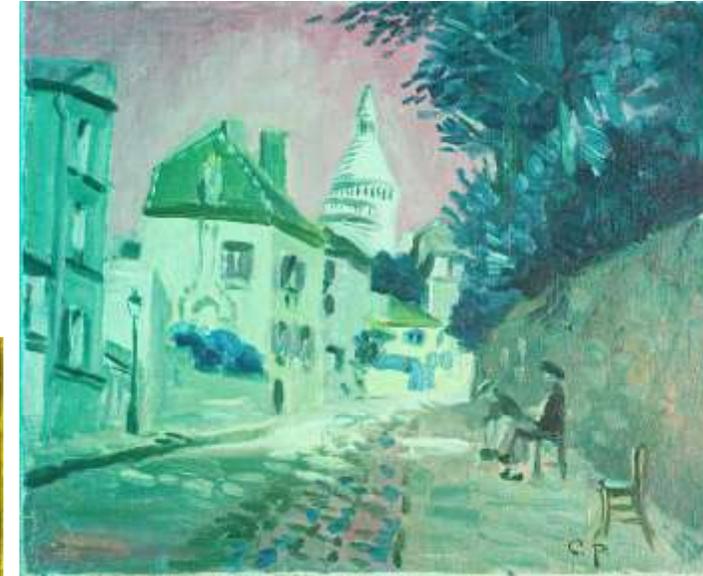
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

**NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE**

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

L'Artificial Intelligence System for Infrared and Ultraviolet False Color è un metodo di indagine diagnostica che analizza i risultati del Falso Colore nella regione della radiazione infrarossa e ultravioletta in modo da determinare con estrema precisione (oltre il 95%) i pigmenti utilizzati per la composizione della superficie pittorica. In buona sostanza, tale metodo, chiamato sinteticamente con gli acronimi AIIRFC e AIUVFC, risolve l'incertezza e l'arbitrarietà di interpretazione determinata dalla lettura soggettiva delle foto in Falso Colore, esprimendo anche il grado di attendibilità sull'intera area analizzata.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

AIIRFC/AIUVFC

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

CONSIDERATIONS ON COMPOSITIONAL MATERIALS THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR INFRARED FALSE COLOR PHOTOGRAPHY (IRFC) AND ULTRAVIOLET FLUORESCENCE FALSE COLOR PHOTOGRAPHY (UVFC)

IRFC Photos 20, 23, 22, 24  
UVFC Photos 16, 23

To identify the pigments used throughout the extension of the pictorial surface, in addition to Raman and XRF analysis, we proceeded with the analysis of the False Color both through the IR radiation and by UV radiation for a more detailed comparison. The images obtained in False Color were subsequently analyzed with the Artificial Intelligence System.

From the analysis of False Color through infrared and ultraviolet radiation, the following table of color concordances can be deduced:

VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
White	Pale Light Blue	Pale Salmon	Lead White (Biacca) ( $PbCO_3$ ), ( $2-Pb(OH)_2$ )
Yellow	Pink	Orange	Yellow Zinc (zinc oxide) ZnO
Dark red	Orange	Bluish purple	Ochre red $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
Blue	Blue	Green	Prussian Blue (ferrous ferricyanide) $Fe(II)_3[Fe(III)(CN)_6]_2 \cdot 6H_2O$
Green	Red	Deep Violet	Green Chrome (III)-oxide $Cr_2O_3$
Brown	Green	Deep Violet	Raw Umber (Hydrated iron oxide) $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$

Pigment, Percentage  
 01 WHITE PIGMENTS: Lead White (Biacca) ( $PbCO_3$ ), ( $Pb(OH)_2$ )  
 02 YELLOW PIGMENTS: Yellow Zinc (zinc oxide) ZnO  
 03 RED PIGMENTS: Ochre red  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$   
 04 BLUE PIGMENTS: Prussian Blue (ferrous ferricyanide)  
 $Fe(II)_3[Fe(III)(CN)_6]_2 \cdot 6H_2O$   
 05 GREEN PIGMENTS: Green Chrome (III)-oxide  $Cr_2O_3$   
 06 BROWN PIGMENTS: Raw Umber (Hydrated iron oxide)  
 $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$

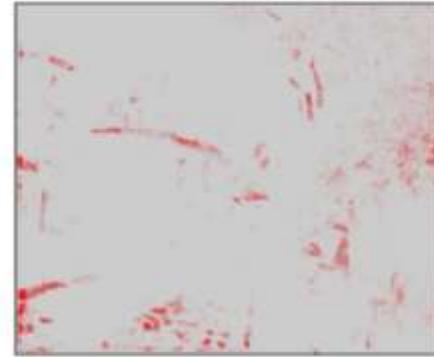
Pigment, Percentage



01 WHITE PIGMENTS: Lead White (Biacca) ( $PbCO_3$ ), ( $Pb(OH)_2$ )



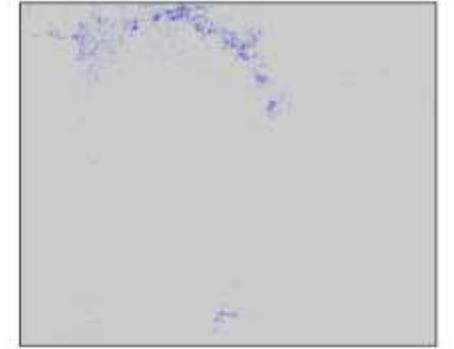
02 YELLOW PIGMENTS: Yellow Zinc (zinc oxide) ZnO



03 RED PIGMENTS: Ochre red  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$



04 BLUE PIGMENTS: Prussian Blue (ferrous ferricyanide)  $Fe(II)_3[Fe(III)(CN)_6]_2 \cdot 6H_2O$



05 GREEN PIGMENTS: Green Chrome (III)-oxide  $Cr_2O_3$



06 BROWN PIGMENTS: Raw Umber (Hydrated iron oxide)  $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

Rispetto alle tradizionali metodologie non invasive di analisi dei pigmenti (Raman spectroscopy, X-ray fluorescence spectrophotometry (XFR), Fiber Optics Reflectance Spectroscopy (FORS)), che restituiscono un risultato puntuale, l'analisi AIIRFC/AIUVFC offre una lettura completa di tutta la superficie pittorica. Come la Raman spectroscopy, e diversamente dalla XRF, questa tecnica d'indagine dà informazioni riguardanti la superficie pittorica, ma non può leggere gli strati sottostanti, perché ovviamente è basata sulla tecnica della fotografia in Falso Colore.



**VANTAGGI**

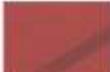


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

*Facoltà di Scienze della Comunicazione*

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

From the analysis of False Color through infrared and ultraviolet radiation, the following table of color concordances can be deduced:

VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
White 	Pale Light Blue 	Pale Salmon 	Lead White (Biacca) ( $PbCO_3$ ) $\cdot$ 2 $\cdot$ Pb(OH) $_2$
Red 	Intense Yellow 	Blue 	Cinnabar (mercury sulfide) HgS
Light Blue 	Pink 	Light green 	Blue Cobalt (cobalt aluminate) CoO+Al $_2$ O $_3$
Green 	Red 	Deep Violet 	Green Chrome (III)-oxide Cr $_2$ O $_3$
Brown 	Reddish ochre 	Bluish violet 	Burnt Sienna (iron oxide) Fe $2$ O $3$

Pigment\_Percentage

White-Lead,13.690329931345964

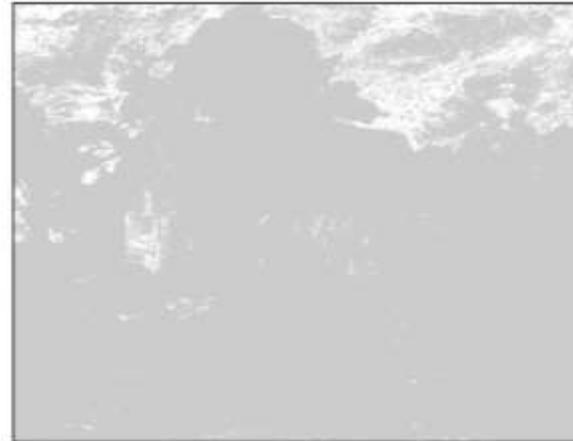
Green-Chrome,5.769086085158868

Blue-Cobalt,9.057535416648385

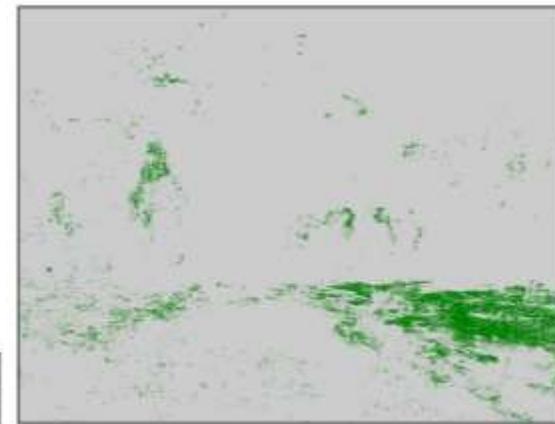
Red-Cinnabar,8.11858836537871

Brown-Sienna,0.7180957646281069

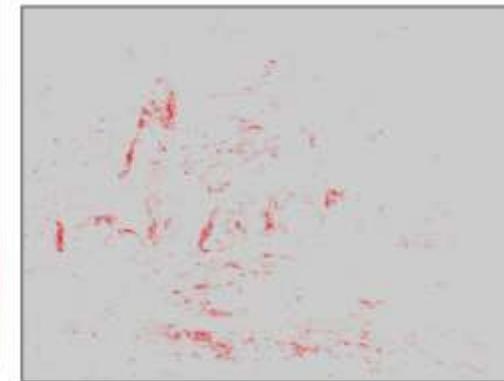
Pigment\_Percentage



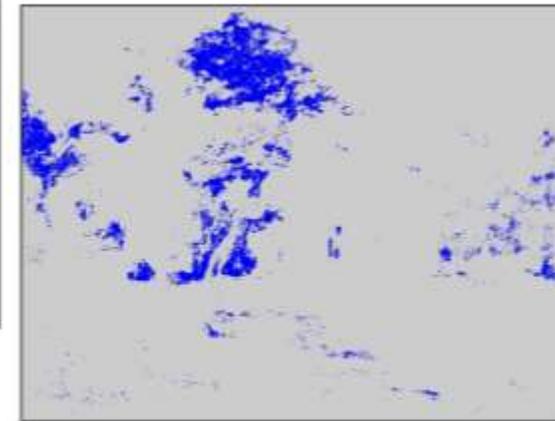
White-Lead,13.690329931345964



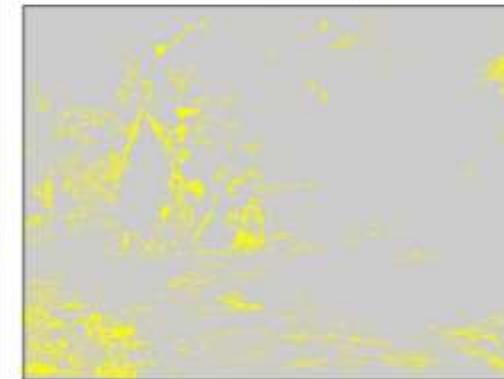
Green-Chrome,5.769086085158868



Red-Cinnabar,8.11858836537871



Blue-Cobalt,9.057535416648385



Brown-Sienna,0.7180957646281069



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE

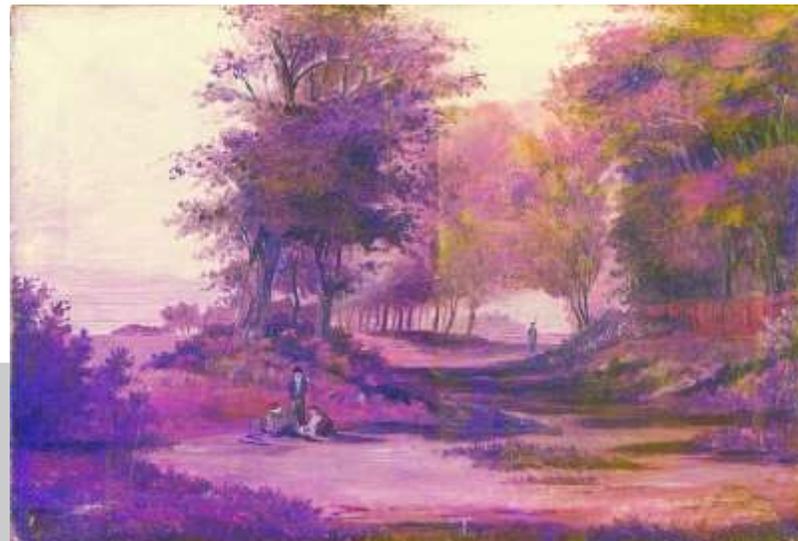
# *INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE*

L'analisi AIIRFC/AIUVFC è stata condotta su un campione di oltre trecento dipinti, su cui sono state eseguite le fotografie in Falso colore nelle regioni infrarossa e ultravioletta. Il principio di base della ricerca è l'insieme delle nove cromie che determinano la rappresentazione fotografica di un dipinto nel Falso Colore, vale a dire i canali rosso, verde e blu nelle regioni ottiche del visibile, dell'infrarosso e dell'ultravioletto. In base alla combinazione di queste nove features, ogni pigmento risulterà diverso dagli altri e caratterizzato da una esclusiva sequenza cromatica. L'analisi di questa sequenza cromatica è affidata all'Intelligenza Artificiale, che in modo automatico, veloce e sistemico è in grado di distinguere i diversi pigmenti della superficie pittorica, in modo più efficace rispetto all'arbitrarietà interpretativa dell'occhio umano.



# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

Il sistema di algoritmi di Intelligenza Artificiale, basato su tre diversi classificatori, vale a dire su tre diverse metodologie di analisi (Tree, KNN, rete neuronale), è stato inizialmente addestrato a riconoscere attraverso un make up appositamente creato con campi di colore composti da diversi pigmenti. Si è poi passati alla fase sperimentale sui dipinti reali ottenendo una percentuale di attendibilità di riconoscimento dei pigmenti ricorsivamente superiore al 90% con molti casi prossimi alla totale sicurezza del risultato.



# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

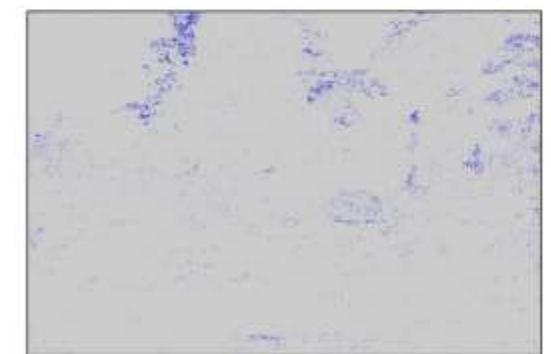
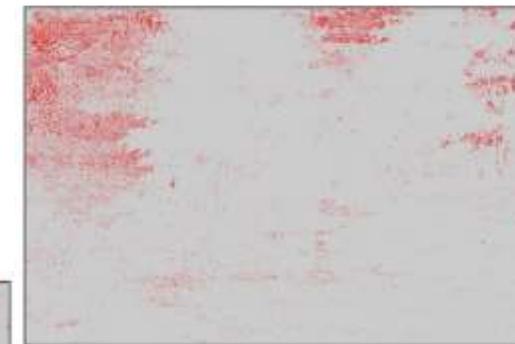
To identify the pigments used throughout the extension of the pictorial surface, in addition to Raman and XRF analysis, we proceeded with the analysis of the False Color both through the IR radiation and by UV radiation for a more detailed comparison. The images obtained in False Color were subsequently analyzed with the Artificial Intelligence System.

From the analysis of False Color through infrared and ultraviolet radiation, the following table of color concordances can be deduced:

VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
	Pale Light Blue	Pale Salmon	Lead White (Bianca) ( $PbCO_3$ ) $\cdot$ 2 $Pb(OH)_2$
	Light Yellow	Purple	Chrome Yellow (Lead chromate) $PbCrO_4$
	Orange	Bluish purple	Ochre red $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$

	Blue	Green	Prussian Blue (ferrous ferrocyanide) $Fe(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3 \cdot 6H_2O$
	Light blue	Violet	Earth (Iron oxide) $Fe_2$
	Reddish ochre	Bluish violet	Burnt Sienna (iron oxide) $Fe_2O_3$

Pigment,Percentage  
 White-Lead,21.933462010731528  
 Yellow-Chrome,9.28809019192276  
 Ochre-Red,8.59325326739668  
 Green-Earth,6.1938613311803  
 Blue-Prussian,4.187776488200367  
 Brown-Sienna,3.006467511059528



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE



Come ogni ricerca rigorosamente scientifica, i risultati sperimentali hanno avuto bisogno di un metodo per essere verificati: tutti i dipinti analizzati tramite il sistema AIIRFC/AIUVFC sono stati preliminarmente indagati attraverso Raman, XRF e FORS in modo da tenere sotto controllo i risultati forniti dall'Intelligenza Artificiale.

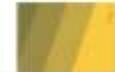
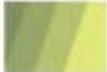
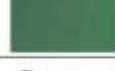
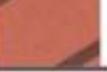


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

*SISTEMA DI CONTROLLO*

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
White 	Pale Light Blue 	Pale Salmon 	Lead White (Bianca) ( $PbCO_3$ ) $\cdot$ 2-Pb(OH) $_2$
Yellow 	Light Yellow 	Purple 	Chrome Yellow (Lead chromate) PbCrO $_4$
Red 	Intense Yellow 	Blue 	Cinnabar (mercury sulfide) HgS
Light Blue 	Blue 	Green 	Prussian Blue (ferrous ferrocyanide) Fe(III) $_4$ [Fe(II)(CN) $_6$ ] $_3$ 6H $_2$ O
Green 	Red 	Deep Violet 	Green Chrome (III)-oxide Cr $_2$ O $_3$
Brown 	Reddish ochre 	Bluish violet 	Burnt Sienna (iron oxide) Fe $_2$ O $_3$

01 White field: Lead White (Bianca) (PbCO $_3$ ) $\cdot$ 2-Pb(OH) $_2$   
 02 Yellow field: Chrome Yellow PbCrO $_4$   
 03 Red field: Vermilion or cinnabar (mercuric sulfide) HgS 04  
 04 Blue field: Blue Cobalt CoO $\cdot$ Al $_2$ O $_3$   
 05 Green field: Green Chrome (III)-oxide Cr $_2$ O $_3$   
 06 Brown field: Burnt Sienna (iron oxide) Fe $_2$ O $_3$

Pigment\_Percentage  
 White-Lead,31.040484620153878  
 Yellow-Chrome,7.78062867646244  
 Red-Cinnabar,13.17151908203813  
 Blue-Cobalt,1.2966424322244912  
 Green-Chrome,1.22261097844620198  
 Burnt-Sienna,0.8722625390511539

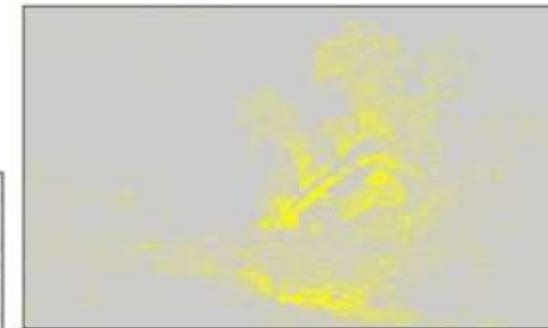


Pigment\_Percentage

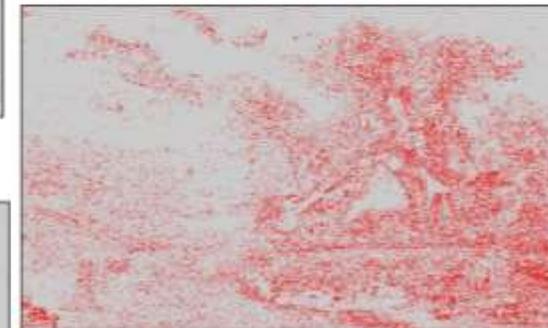


01 White field: Lead White (Bianca) (PbCO $_3$ ) $\cdot$ 2-Pb(OH) $_2$

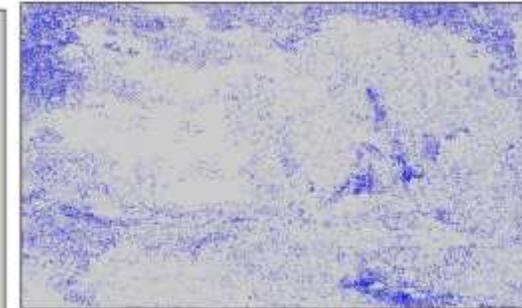
06 Brown field: Burnt Sienna (iron oxide) Fe $_2$ O $_3$



02 Yellow field: Chrome Yellow PbCrO $_4$



03 Red field: Vermilion or cinnabar (mercuric sulfide) HgS 04



04 Blue field: Blue Cobalt CoO $\cdot$ Al $_2$ O $_3$



05 Green field: Green Chrome (III)-oxide Cr $_2$ O $_3$



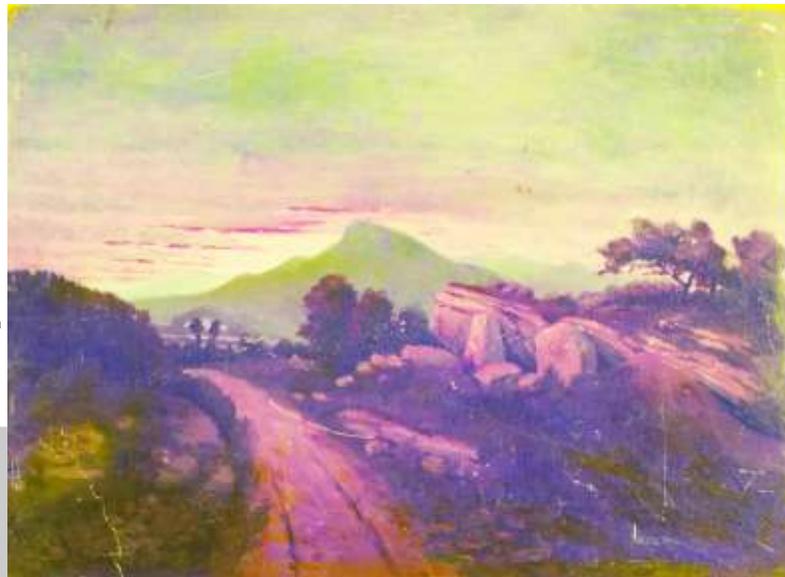
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

NUOVI AMBITI DI  
APPLICAZIONE

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

La metodologia di indagine diagnostica AIIRFC/AIUVFC ha, dunque, molti vantaggi: fornisce risultati non puntuali relativi all'intera superficie pittorica; è in grado di esprimere la percentuale di sicurezza sui tali risultati (cosicché l'applicazione di altri sistemi di indagine sui pigmenti possa essere limitata alle sole aree di incertezza); è un sistema implementabile all'infinito, ossia la sua sensibilità è incrementabile poiché dipende dal training sugli esemplari di colori che si forniscono e non sulla meccanica delle componenti fisiche di costruzione come la strumentazione Raman, XRF e FORS.



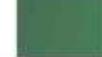
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

INTELLIGENZA ARTIFICIALE RISULTATI

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE SUL FALSO COLORE

From the analysis of False Color through infrared and ultraviolet radiation, the following table of color concordances can be deduced:

VISIBLE	IRFC	UVFC	COLOUR
	Pale Light Blue 	Pale Salmon 	Lead White (Biacca) ( $PbCO_3$ ) $\cdot$ 2 $Pb(OH)_2$
Red 	Intense Yellow 	Beige/Orange 	Chrome Red (Lead chromate) $PbCrO_4$
Light Blue 	Pink 	Light green 	Blue Cobalt (cobalt aluminate) $CoO \cdot Al_2O_3$
Light Blue 	Blue 	Green 	Prussian Blue (ferrous ferrocyanide) $Fe(III) \cdot [Fe(II)(CN)_6] \cdot 6H_2O$
Green 	Red 	Deep Violet 	Green Chrome (III)-oxide $Cr_2O_3$
Green 	Pink 	Dark pink 	Emerald green (hydrated chromium oxide) $Cr_2O_3$
Brown 	Reddish orange 	Dark Blue 	Earth Sienna (iron oxide) $Fe_2O_3$

Pigment,Percentage

White-Lead,14.357596452190846

Blue-Cobalt,13.638479511349042

Blue-Prussian,11.717439401972202

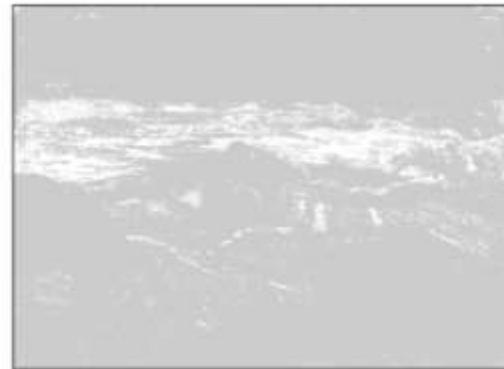
Red-Chrome,10.91016654884879

Green-Chrome,3.278666427030913

Emerald-Green,2.082794152887611

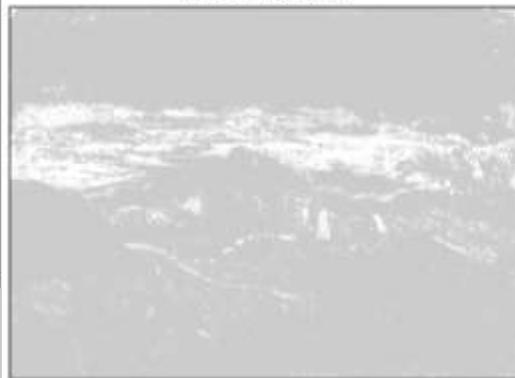
Earth-Sienna,3.0812888439971246

Pigment,Percentage

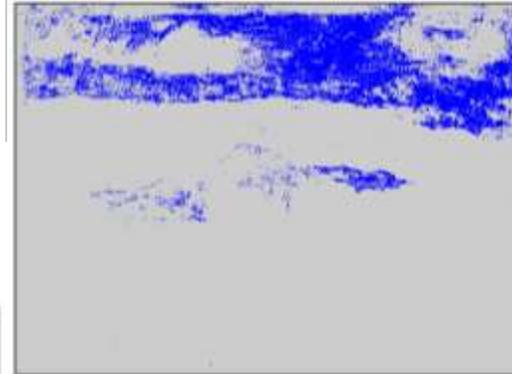


White-Lead,14.357596452190846

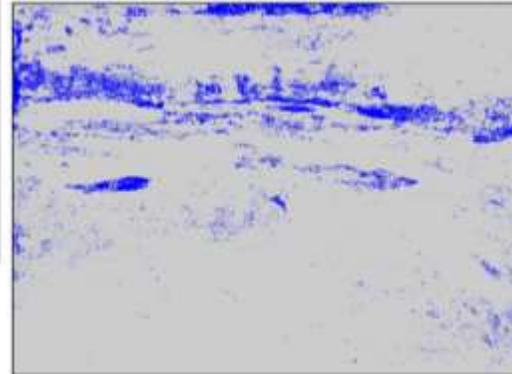
Tree-White-Lead



Tree-Blue-Cobalt



Tree-Blue-Prussian



Emerald-Green,2.082794152887611

Red-Chrome,10.91016654884879



Green-Chrome,3.278666427030913

Earth-Sienna,3.0812888439971246



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TERAMO

Facoltà di Scienze della Comunicazione

NUOVI AMBITI DI APPLICAZIONE