



GLI PSEUDOCOLOR

Usi, metodologie e curiosità

Principi e modelli della percezione
Prof.ssa Casiraghi Elena
AA 2020/21

Marcolli Lorenzo
Maiella Alessandra
Parenti Angelica
Rizzi Alberto

Introduzione

PSEUDOCOLORS: DEFINIZIONE

Il **falso colore** (o **pseudo colore**) si riferisce a un gruppo di metodi di resa cromatica utilizzati per visualizzare immagini a colori che sono state registrate nelle parti visibili o non visibili dello spettro elettromagnetico.

Un'immagine in **falsi colori** è un'immagine che raffigura un oggetto con colori diversi da quelli mostrati da una fotografia (un'immagine **a colori reali**).

In questo tipo di immagine, i colori sono stati assegnati a tre diverse lunghezze d'onda che i nostri occhi normalmente non possono vedere.

Inoltre, varianti di *falsi colori* come **pseudocolore**, **Density Slicing**, e **choropleths** vengono utilizzati per la visualizzazione delle informazioni di entrambi i dati raccolti da un singolo canale in scala di grigi o dati non raffiguranti parti dello spettro elettromagnetico (es. elevazione mappe rilievo o tipi di tessuto in risonanza elettromagnetica per immagini).

Tipi di Color Rendering

1. **True Color**
2. **False Color**
3. **PseudoColor**
4. **Density Slicing**
5. **Choropleths**

1. True colors

Il concetto alla base del vero colore può aiutare a comprendere il falso colore. Un'immagine è chiamata **immagine a colori reali** quando offre una resa cromatica naturale o quando si avvicina ad essa. Ciò significa che i colori di un oggetto in un'immagine appaiono a un osservatore umano allo stesso modo come se questo osservatore vedesse direttamente l'oggetto: un albero verde appare verde nell'immagine, una mela rossa, un blu cielo.

Quando applicato alle immagini in bianco e nero, il vero colore significa che la luminosità percepita di un soggetto viene preservata nella sua rappresentazione.

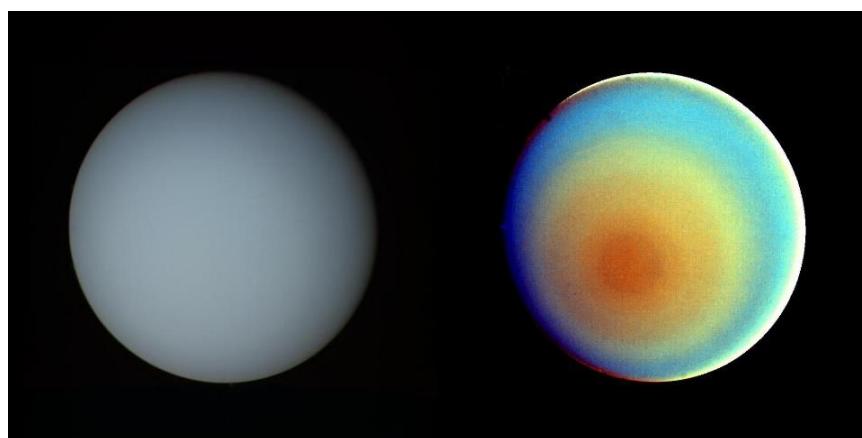
LA RESA ASSOLUTA DEI COLORI REALI È IMPOSSIBILE.

Esistono **tre principali cause di errore di colore** (fallimento metamerico):

- Diverse sensibilità spettrali dell'occhio umano e di un dispositivo di acquisizione di immagini (ad esempio una fotocamera).
- Emissioni / riflessioni spettrali differenti dell'oggetto e del processo di rendering dell'immagine (es. Una stampante o un monitor).
- Differenze nell'irradianza spettrale nel caso di immagini riflettenti (ad esempio stampe fotografiche) o oggetti riflettenti (indice di resa cromatica (CRI¹)).

Il risultato di un fallimento metamerico sarebbe ad esempio un'immagine di un albero verde che mostra una diversa tonalità di verde rispetto all'albero stesso, una diversa tonalità di rosso per una mela rossa, una diversa tonalità di blu per il cielo blu, e così via.

La gestione del colore (ad esempio con i profili ICC) può essere utilizzata per mitigare questo problema entro i vincoli fisici. Le immagini approssimative a colori reali raccolte da veicoli spaziali sono un esempio in cui le immagini hanno una certa quantità di guasti metamerici, (in biologia, che presenta metameria) poiché le bande spettrali della telecamera di un veicolo spaziale vengono scelte per raccogliere informazioni sulle proprietà fisiche dell'oggetto in esame e non vengono scelte per acquisire immagini a colori reali.



Il Pianeta Urano in True color (a sinistra) e in False color (a destra)

¹ misura di quanto *naturali* appaiano i colori degli oggetti da essa illuminati.

2. Falso colore

Contrariamente a un'immagine a colori veri, **un'immagine a falsi colori sacrifica la resa naturale del colore per facilitare il rilevamento di caratteristiche che altrimenti non sarebbero facilmente distinguibili**, ad esempio l'uso del vicino infrarosso per il rilevamento della vegetazione nelle immagini satellitari. Sebbene un'immagine in falsi colori possa essere creata utilizzando esclusivamente lo spettro visivo (ad esempio per accettare le differenze di colore), tipicamente alcuni o tutti i dati utilizzati provengono da radiazioni elettromagnetiche (EM) al di fuori dello spettro visivo (ad esempio infrarossi ultravioletti o raggi X).

La scelta delle bande spettrali è governata dalle proprietà fisiche dell'oggetto in esame.

Poiché l'occhio umano utilizza tre bande spettrali, tre bande spettrali sono comunemente combinate in un'immagine a falsi colori.

Sono necessarie almeno due bande spettrali per una codifica in falsi colori, ed è possibile combinare più bande nelle tre bande RGB visive - con la capacità dell'occhio di distinguere tre canali come fattore limitante. Al contrario, un'immagine "a colori" composta da una banda spettrale o un'immagine composta da dati costituiti da dati non EM (ad es. Elevazione, temperatura, tipo di tessuto) è un'immagine pseudocolore.

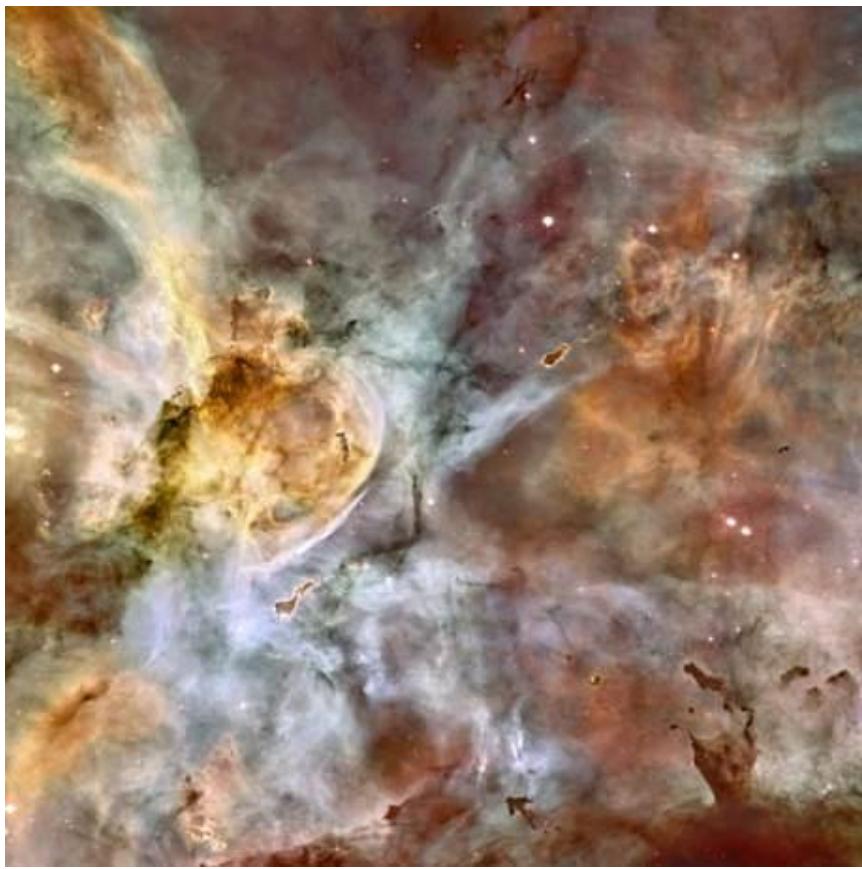
Per il true color, i canali RGB (rosso "R", verde "G" e blu "B") dalla telecamera vengono mappati sui corrispondenti canali RGB dell'immagine, producendo una mappatura "RGB → RGB". Per il falso colore questa relazione è cambiata. La più semplice codifica in falsi colori consiste nel prendere un'immagine RGB nello spettro visibile, ma mapparla in modo diverso, ad esempio "GBR → RGB". Per le tradizionali immagini satellitari in falsi colori della Terra viene utilizzata una mappatura "NRG → RGB", dove "N" rappresenta la banda spettrale del vicino infrarosso (e la banda spettrale blu non è utilizzata) - questo produce la tipica "vegetazione in rosso".

Il falso colore viene utilizzato (tra gli altri) per le immagini satellitari e spaziali: esempi sono i satelliti di telerilevamento (ad esempio Landsat), i telescopi spaziali (ad esempio il telescopio spaziale Hubble) o le sonde spaziali (ad esempio Cassini-Huygens). Alcuni veicoli spaziali, con rover (ad esempio il Mars Science Laboratory Curiosity) che sono gli esempi più importanti, hanno anche la capacità di catturare immagini approssimative a colori reali. I satelliti meteorologici producono, a differenza dei veicoli spaziali menzionati in precedenza, immagini in scala di grigi dallo spettro visibile o infrarosso.

VERO O FALSO (COLORE): L'ARTE DELLA FOTOGRAFIA EXTRATERRESTRE (CASO STUDIO)

Quando si guardano le incredibili immagini catturate dal telescopio spaziale Hubble o dai Mars Exploration Rover, ci si chiede mai se è quello che si vedrebbe davvero con gli occhi? La risposta, purtroppo, è che probabilmente non lo è. In alcuni casi, come con i rover² su Marte, gli scienziati cercano di calibrare i rover per vedere il "vero colore", ma soprattutto, i colori vengono scelti per fornire il massimo della scienza. Ecco come gli scienziati calibrano i loro straordinari strumenti e la differenza tra colori veri e falsi.

² Il rover è un veicolo adibito al trasporto su un corpo celeste. Il rover viene portato su un pianeta o su un satellite dal lander.



Quando si vedono le splendide immagini iconiche di Hubble o gli splendidi panorami dei rover su Marte, quelle immagini rappresentano ciò che gli occhi umani farebbero?

Per Hubble, per lo più falso. Per i rover, per lo più vero, poiché i rover forniscono una combinazione di immagini a colori cosiddette "true" e "false". Si è scoperto che il termine "vero colore" sia un po' controverso e pertanto molti studiosi coinvolti nel campo delle immagini extraterrestri non ne sono molto affezionati.

Jim Bell, lo scienziato capo del sistema di imaging a colori Pancam sui Mars Exploration Rovers (MER), ha affermato che in realtà si cerca di evitare di usare il termine "vero colore" perché nessuno sa esattamente quale sia il "vero" colore su Marte. Infatti su Marte, così come sulla Terra, il colore cambia continuamente: sia che sia nuvoloso o sereno, che il sole sia alto o basso, o che ci siano variazioni nella quantità di polvere presente nell'atmosfera.

Come dicono gli scienziati: "*I colori cambiano di momento in momento. È una cosa dinamica. Cerchiamo di non tracciare una linea così difficile dicendo "questa è la verità!"*".



3. Pseudocolor

Un'immagine **pseudocolor** è **derivata da un'immagine in scala di grigi** mappando ogni valore di intensità con una tabella, una funzione di progressione del colore o una *mappa di colori*.

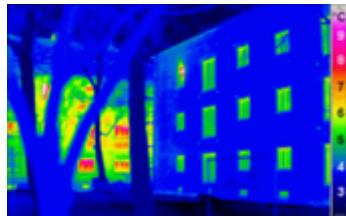
Lo pseudocolor è tipicamente usato quando ho un solo dato disponibile, come per esempio la *temperatura, composizione terrestre*. Questo è in contrasto con i falsi colori che invece solitamente usano 3 tipi di dati diversi.

Lo **pseudocoloring può rendere visibili dei dettagli** che non sarebbero visibili con colori reali. Non stiamo usando il colore reale di un'immagine, ma applico dei colori scelti per far sì che chi guardi percepisca il concetto che voglio trasmettere.

Esempi di utilizzo

Un tipico esempio della tecnica dello pseudocolor è nella **termografia**, dove le telecamere ad infrarossi catturano una sola banda dello spettro e ci restituisce quindi un'immagine in scala di grigi.

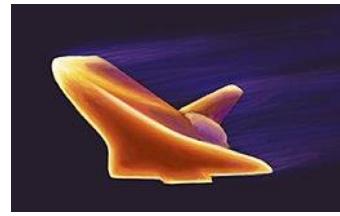
Esempi di codifica della temperatura con gli pseudocolor



Termografia di un edificio e una pianta. Nota: il colore della temperatura è indicato nella legenda sulla destra



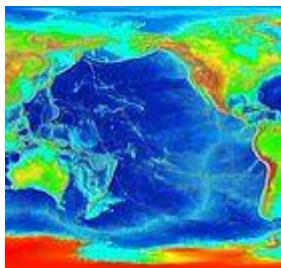
Una termoimmagine di una locomotiva usando gli pseudocolor. Il giallo/bianco indicano una temperatura maggiore, il rosso/viola una temperatura più bassa



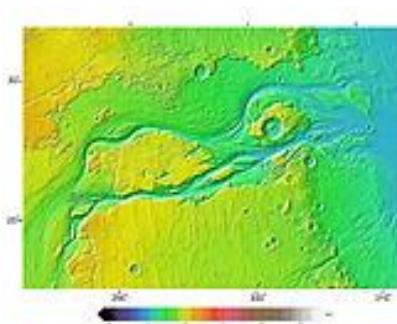
Questa immagine a pseudocolor è il risultato di una simulazione a computer della temperatura che raggiunge uno Space Shuttle durante il suo rientro

Un altro uso tipico dello pseudocoloring è per la codifica di dati riguardanti l'elevazione. Questo viene fatto sfruttando le mappe di rilievo.

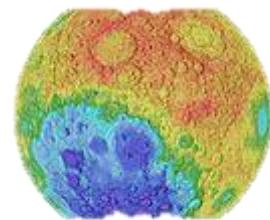
Esempi di codifica dell'elevazione con gli pseudocolor



Una mappa dell'elevazione dell'oceano Pacifico, mostra il fondo dell'oceano con il blu e la terra ferma con il verde e marrone



Questa mappa di rilievo di elevazione codificata a colori indica il risultato delle inondazioni su Marte. La chiave di lettura del colore è in basso.

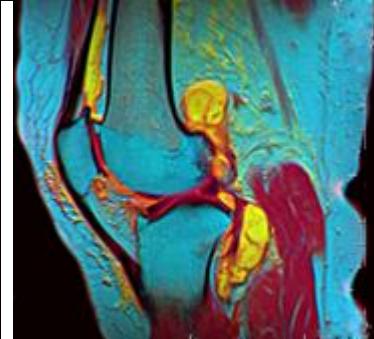


La Luna con tinte ipnometriche di rosso per i punti più alti e viola per il più basso.

Esempi di sovrapposizione di informazioni aggiuntive con pseudo colore:



Questa immagine mostra la variazione della composizione degli strati luna.

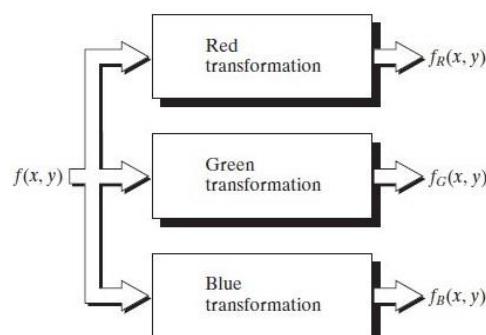


Un'immagine a pseudocolor della risonanza magnetica di un ginocchio. Grazie alla tecnica dello pseudocolor è più facile individuare i vari tipi di tessuti.

MAPPA DI COLORI

La mappa di colori è una funzione $f: [x, y] \subset \mathbb{R} \rightarrow C$; ovvero assegna ad ogni valore compreso tra a e b un colore $c \in C$, dove C è uno spazio colore.

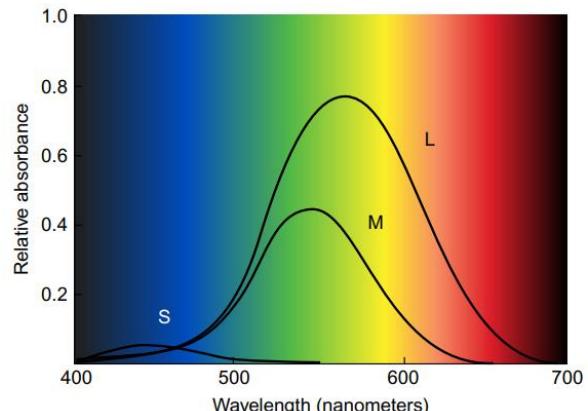
È molto importante quindi scegliere in modo appropriato lo spazio colore C : è una gamma di colore la cui distanza è prefissata.



In questo caso il colore c è dato dalla tupla di 3: [$f_R(x,y)$, $f_G(x,y)$, $f_B(x,y)$], questo per la **Trichromacy Theory**.

Ogni spazio colore si basa sulla **Trichromacy Theory**, che afferma che qualsiasi colore percepito può essere rappresentato in modo univoco da una tupla di 3. Questo risultato è un effetto collaterale del fatto che ci sono esattamente 3 diversi tipi di recettori del colore nell'occhio umano.

Questi percettori sono chiamati coni: situati all'interno della retina e che sono stimolati dal livello di luce normale.



USABILITÀ DEL COLORE

Abbiamo capito che la scelta della mappa di colore da utilizzare è un passaggio fondamentale per **migliorare la comunicazione**, tenendo conto anche delle persone daltoniche.

Inoltre, è importante non scegliere troppi colori, perché il nostro cervello farebbe più fatica a percepire il concetto che vogliamo trasmettere. Si consiglia di scegliere 5 colori, massimo 7. Questo concetto è ben studiato e dimostrato dai principi della gestalt.

Un ulteriore aspetto da considerare in questa scelta è ciò che un colore trasmette a livello percettivo, anche in base allo sfondo culturale del pubblico che dovrà usufruire dell'immagine in pseudocolor.

ANDY WARHOL

Una particolare curiosità sull'uso degli pseudocolor lo possiamo ritrovare nella tecnica dell'artista Andy Warhol, famoso pittore del filone artistico della Pop Art. Tra le sue opere più famose possiamo trovare il ritratto/dipinto di Marilyn Monroe.

Andy utilizzò nei suoi ritratti dei colori che non rappresentano la realtà, ma ben scelti e ben organizzati per poter trasmettere un messaggio. Per poter riprodurre un effetto di questo tipo sfruttò la tecnica della serigrafia, un particolare metodo per imprimere del colore su tela solo su alcune zone dell'immagine.



Qui entra in gioco ciò che può essere la tecnica dello pseudocolor sopra descritta, infatti partendo da un'immagine in bianco e nero, aumentando il contrasto generale dell'immagine (per cui si vedrà in maniera più netta i passaggi tra ombre e luci nella foto), Andy sceglieva su quale zona di nero applicare un determinato colore; la paletta colori era scelta dall'artista. Sfruttando la tecnica della serigrafia otteneva il risultato che oramai tutti noi conosciamo. È un particolare uso degli pseudocolor, perché non su tutte le zone con stessa luminosità di grigio viene applicato lo stesso colore, ma questo perché siamo di fronte ad un artista e ad un'opera d'arte.

Per riprodurre una stampa serigrafica, si deve prendere un pezzo di tela (anche di nylon) che viene montata su un telaio.

Questa tela deve essere ricoperta con un'emulsione sensibile alla luce. A questo punto si può prendere la nostra immagine in bianco e nero, stampata su una gelatina trasparente, appoggiarla sulla tela, e far sì che delle luci ultraviolette incidano la nostra immagine sulla tela. La parte dove il lucido è trasparente, lasciando passare la luce, consente l'indurimento della fotoemulsione sottostante, mentre la parte dove il lucido presenta un nero ad elevata densità, non consentendo il passaggio della luce, impedisce l'indurimento della fotoemulsione sottostante, che rimane idrosolubile.

Una volta eseguita l'esposizione alla luce, un lavaggio con acqua scioglie la fotoemulsione non indurita, rivelando in modo chiaro e molto definito le aree aperte del tessuto serigrafico.

A questo punto, possiamo applicare il telaio su una nuova tela, passare l'inchiostro, che passerà attraverso le zone rimaste trasparenti, imprimentosi sulla tela.

4. Density Slicing

INTRODUZIONE: UNA TECNICA DI MIGLIORAMENTO DELL'IMMAGINE

Le tecniche di miglioramento dell'immagine migliorano la qualità di un'immagine percepita da un essere umano. Queste sono molto utili dal momento che le immagini di molti satelliti, quando esaminate su un display a colori, forniscono informazioni inadeguate per l'interpretazione dell'immagine. Esiste, perciò, un'ampia varietà di tecniche per migliorare la qualità dell'immagine, tra cui il Density Slicing.

Il miglioramento dell'immagine viene tentato dopo che l'immagine è stata corretta da distorsioni geometriche e radiometriche. I metodi di miglioramento dell'immagine sono applicati separatamente a ciascuna banda di un'immagine multispettrale.

Questa e altre tecniche digitali si sono rivelate più soddisfacenti della tecnica fotografica grazie al miglioramento dell'immagine, alla precisione e all'ampia varietà dei processi digitali.

LA TECNICA DI DENSITY SLICING

Il **Density Slicing** è una variazione della tecnica dello pseudocolore, che permette di dividere un'immagine attraverso i valori dei suoi pixel (*Figura 1*) in una serie di intervalli o sezioni, con colori diversi applicati a ciascuna sezione. La peculiarità è che questa tecnica viene eseguita su immagini a banda singola per evidenziarne le differenze. Le immagini a **banda singola** sono, spesso, chiamate immagini "in scala di grigi", perché di solito non vengono visualizzate a colori (sebbene ciò sia possibile). Invece, vengono generalmente visualizzate con i numeri più bassi le sfumature più scure di grigio e i numeri più alti hanno le tonalità più chiare.

Per applicare questa tecnica la gamma dei **livelli della scala di grigi** (0-255) viene divisa in intervalli (*Figura 2*) e a ciascuno di essi viene assegnato uno dei colori discreti. Ciò è in contrasto con lo pseudocolore, che utilizza una scala di colori continua.

Si è osservato che il Density Slicing viene, soprattutto, utilizzato per visualizzare le differenze nella vegetazione, attraverso il ³telerilevamento, per le immagini termiche, ed anche in ambito medico.

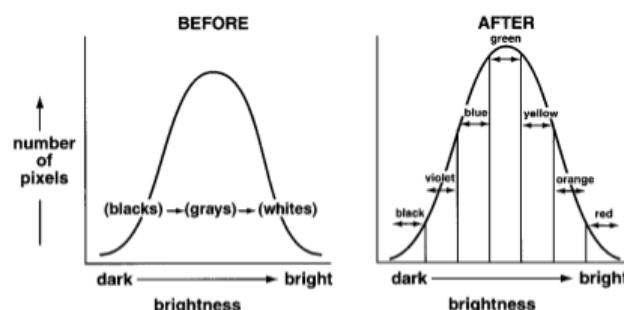


Figura 1

³ Il **telerilevamento**, in inglese remote sensing, è la disciplina tecnico-scientifica o scienza applicata con finalità diagnostico-investigative che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e su oggetti posti a distanza da un sensore mediante misure di elettromagnetica (emessa, riflessa o trasmessa) che interagisce con le superfici fisiche di interesse.

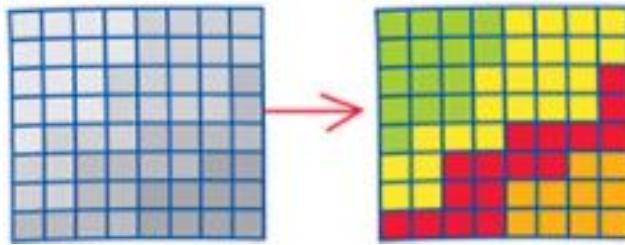


Figura 2

La maggior parte dei programmi di analisi geospaziale consentono agli utenti di specificare il numero di sezioni/classi e di controllare l'intervallo di valori in ciascuna classe.

In alcuni casi, gli utenti potrebbero voler specificare manualmente il numero di classi e l'intervallo di valori in base a dei dati specifici.

Gli *istogrammi* e le *statistiche* delle immagini possono essere utilizzati anche per dividere o suddividere automaticamente i dati in classi. Ad esempio, i metodi di intervallo uguale dividono i valori dell'intervallo (in base al valore minimo e massimo) in intervalli di uguale dimensione (*Figura 3*). Le classi Natural Breaks si basano su raggruppamenti naturali inerenti ai dati. Le interruzioni di classe sono identificate in modo tale che raggruppino meglio valori simili e che si massimizzino le differenze tra le classi.

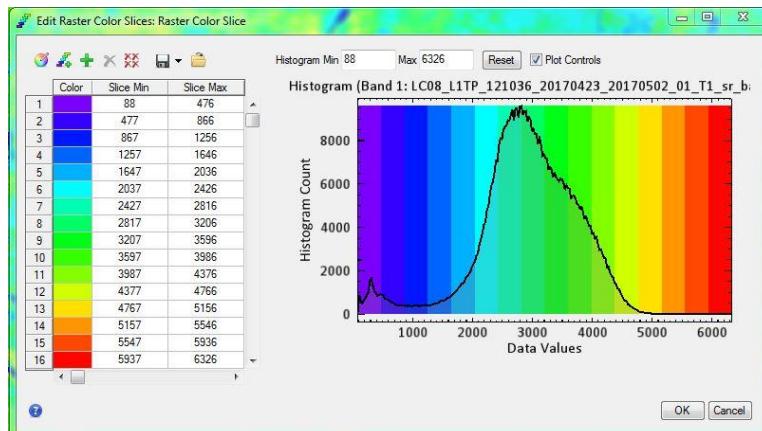


Figura 3

IL DENSITY SLICING USATO PER IL MIGLIORAMENTO DELLE DIFFERENZE RADIOMETRICHE

Questo metodo può migliorare le sottili differenze ⁴radiometriche in modo che l'occhio possa percepirlle facilmente (*Figura 1*). I miglioramenti radiometrici manipolano i numeri digitali nelle immagini e cambiano il modo in cui l'immagine o i dati vengono visualizzati sullo schermo del computer.

Viene utilizzata in particolare nell'analisi delle immagini di telerilevamento.

⁴ Le **termocamere radiometriche** consentono di misurare il valore di temperatura assoluto di ogni punto dell'immagine. L'immagine, infatti, è costruita su una matrice di un certo numero di pixel per un certo numero di righe. L'elettronica dello strumento rileva rapidamente il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel dell'oggetto osservato. Maggiore numero di pixel significa maggiore dettaglio, visto che le termocamere radiometriche sono in grado di rivelare la temperatura assoluta per ciascun pixel rilevato.

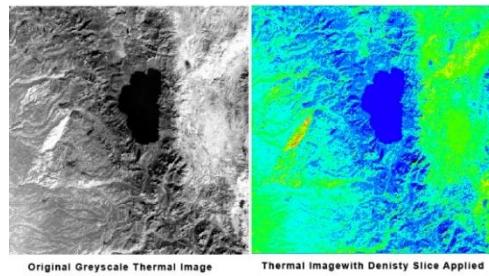


Figura 1

Questa tecnica, però, è efficace solo se le slice sono scelte accuratamente

RICERCHE ED ESEMPI IN CUI VIENE USATA LA TECNICA DEL DENSITY SLICING

ESEMPIO 1) TERMOGRAMMA DI UNA CASA PASSIVA

In *Figura 1* è visibile un esempio di uso del Density Slicing attraverso il **termogramma di una casa passiva**⁵ in primo piano e di un edificio tradizionale sullo sfondo; sulla destra è presente la tabella di riferimento della temperatura associata ai colori.

In un'immagine termica in scala di grigi i valori di temperatura nell'immagine possono essere suddivisi, ad esempio, in bande di 2° C, e ciascuna banda viene rappresentata da un colore, di conseguenza la temperatura di un punto nel termografo può essere acquisita più facilmente dall'utente, perché le differenze distinguibili tra i colori discreti sono maggiori di quelli delle immagini con una scala di grigi continua o pseudo colore continuo.

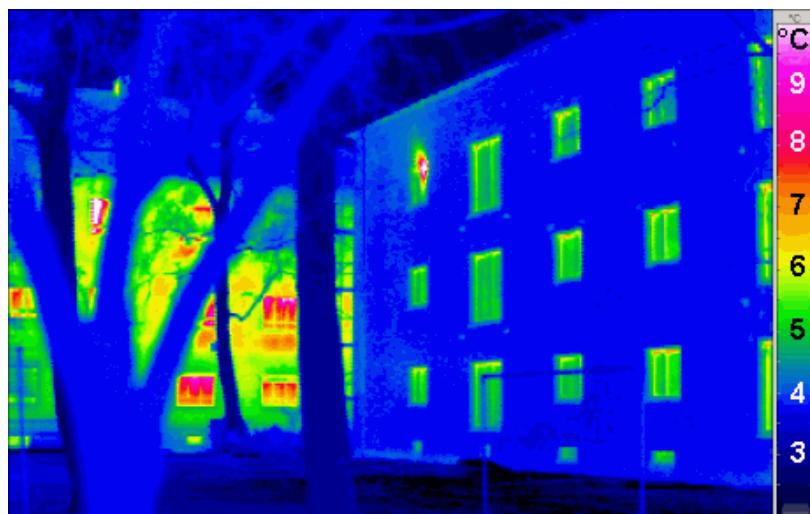
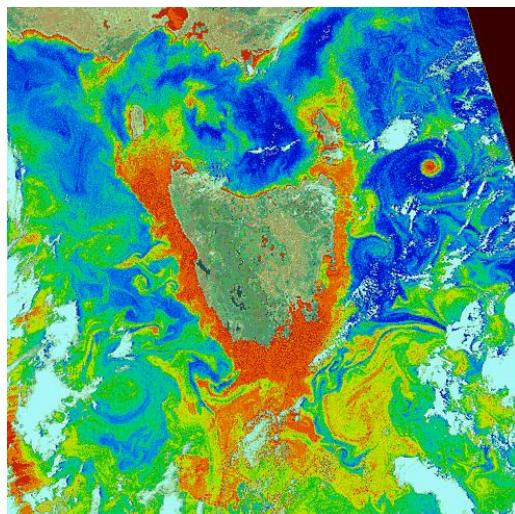


Figura 2

⁵ La **casa passiva** è uno standard per l'efficienza energetica in un edificio, dove ne risultano edifici a bassissimo consumo energetico che richiedono poca energia per il riscaldamento o il raffreddamento degli ambienti.

ESEMPIO 2) CONCENTRAZIONE DI FITOPLANCTON

Un'immagine della Tasmania e delle acque circostanti utilizzando la tecnica di Density Slicing per mostrare la **concentrazione di fitoplancton**. Il colore dell'oceano catturato dall'immagine satellitare è mappato su sette colori: giallo, arancione e rosso indicano più fitoplancton, mentre verde chiaro, verde scuro, azzurro e blu scuro indicano meno fitoplancton; la terra e le nuvole sono raffigurate in diversi colori.



ESEMPIO 3) CAMBIAMENTI NELLA TORPIDITÀ LUNGO IL FIUME GANGA UTILIZZANDO I DATI DEL SATELLITE SENTINEL-2 DURANTE IL BLOCCO ASSOCIATO AL COVID-19

L'India aveva annunciato il blocco più lungo di sempre dal 25 marzo 2020 al 14 aprile 2020 in mezzo alla pandemia COVID-19. È stato riferito che la qualità dell'acqua del fiume Ganga è migliorata rispetto al normale durante questo blocco a livello nazionale.

Nel presente studio, si è cercato di analizzare il cambiamento nella qualità dell'acqua del fiume in termini di torbidità attraverso dati di telerilevamento e con la tecnica del Density Slicing, in assenza di osservazioni al suolo, specialmente durante questo periodo di tempo.

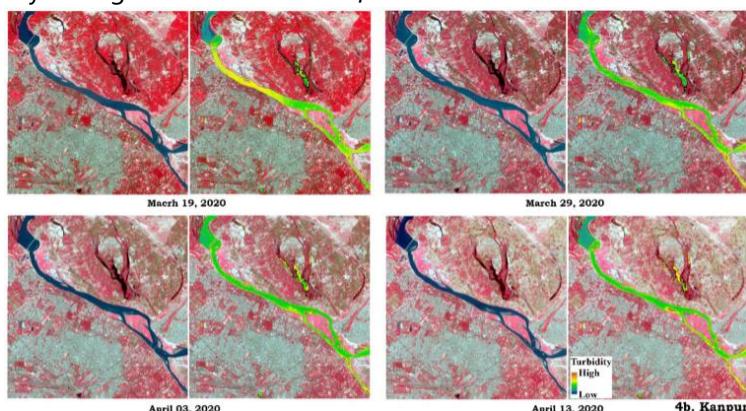
La variazione della riflettanza spettrale dell'acqua lungo il fiume nella regione visibile è stata analizzata utilizzando i dati di telerilevamento multispettrale Sentinel-2 nei tratti di fiume di *Haridwar*, *Kanpur*, *Prayag Raj* e *Varanasi*, le principali città associate alle principali attività di pellegrinaggio.

Nel presente studio, è stato riscontrato che le **bande rosse e NIR** (vicino infrarosso) sono più sensibili e possono essere utilizzate per stimare la torbidità, mentre la riflettanza dell'acqua pura è più verde rispetto alla regione della lunghezza d'onda rossa. La variazione temporale della torbidità è stata analizzata attraverso l'indice di torbidità della differenza in ciascuna posizione.

È stato osservato con la tecnica di Density Slicing che la *torbidità nel fiume si è ridotta drasticamente in ogni tratto del fiume*. (Figura 1)

Figura 1. Analisi del tratto del fiume Kanpur, dove la torbidità si è ridotta continuamente durante il periodo di blocco.

C'è stata una *diminuzione della riflettanza* nell'acqua a monte dello sbarramento dal 25 marzo al 4 aprile 2020; che può essere dovuto a una *riduzione dei sedimenti che causa una minore dispersione della luce blu*.



Grandi cambiamenti nella riflettanza sono stati notati nelle regioni rossa e NIR dello spettro, poiché queste bande hanno un'interferenza relativamente minore dal fondo e restituiscono energia retro diffusa principalmente dalle particelle sospese. (Figura 2)

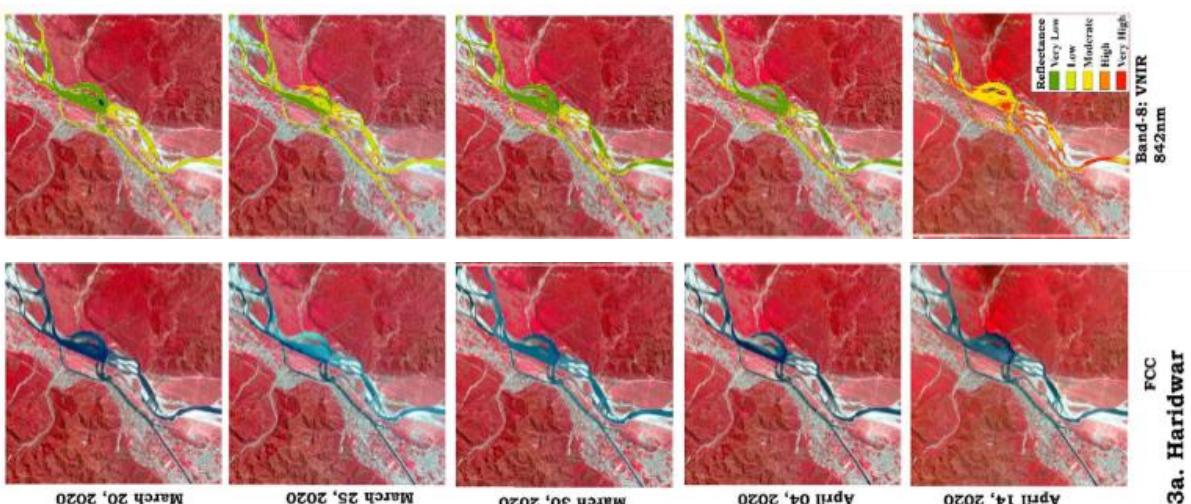


Figura 2. Modifica della riflettanza nelle bande visibili a NIR di Sentinel - 2 dovuta alla variazione della concentrazione di torbidità nelle rispettive date; (a) Haridwar.

ESEMPIO 4) L'USO DEL TAGLIO GRADUALE DELLA DENSITÀ NELLA CLASSIFICAZIONE DELLA FOTOGRAFIE ⁶PANCROMATICHE AD ALTA RISOLUZIONE

Questa ricerca ha evidenziato che il Density Slicing costituisce una metodologia improvvisata, semplice e facile da seguire per classificare le fotografie pancromatiche ad alta risoluzione a livelli di dettaglio spaziale e precisione.

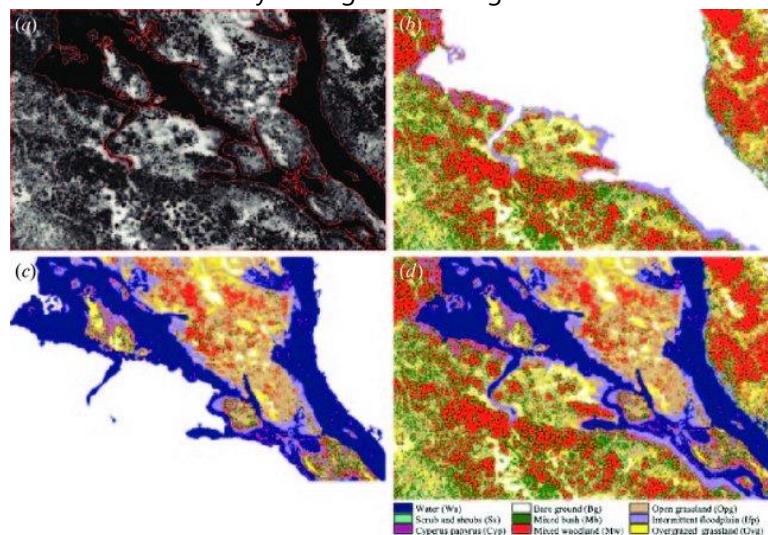
⁶ Si dice **pancromatico** un materiale sensibile a tutte le lunghezze d'onda dello spettro visible, sintetizzate per comodità nelle tre bande ottiche: rosso, verde e blu. In caso di immagini digitali ottenute da satelliti di telerilevamento, un'immagine in pancromatico è molto utile, in quanto permette di raggiungere risoluzioni spettrali maggiori, meglio anche della risoluzione multispettrale.

I ricercatori hanno usato una serie di tecniche di telerilevamento e GIS, per fornire un esempio illustrato che porta il lettore dalla visualizzazione dell'immagine sullo schermo ad una mappa classificata.

Usano una classificazione digitale mediante segmentazione dell'immagine e codifica in scala di grigi guidata visivamente, hanno testato la tecnica di Density Slicing in un'indagine di rilevamento dei cambiamenti intorno al delta dell'**Okavango, fiume dell'Africa sud-occidentale**.

Hanno, poi, selezionato un sito da questo ampio studio e hanno campionato i risultati in quattro intervalli di tempo a scopo illustrativo.

I risultati hanno un livello di accuratezza del 69% ed evidenziano che questa metodologia possa essere utilizzata per la classificazione dettagliata delle immagini pancromatiche ad alta risoluzione.



ESEMPIO 5) RIVELAZIONE DI MASSE MAMMARIE NELLA MAMMOGRAFIA MEDIANTE LA TECNICA DI DENSITY SLICING E ANALISI DEL CAMPO DI FLUSSO DELLA TRAMA

Questa ricerca, infine, evidenzia il fatto che la tecnica di Density Slicing può essere usata anche in ambito medico, ad esempio per il rilevamento di masse tumorali.

Viene usato un metodo per la **rilevazione di masse nelle immagini mammografiche** che impiega operazioni di livellamento e sottocampionamento gaussiano come fasi di pre-elaborazione.

Le porzioni di massa vengono segmentate stabilendo collegamenti di intensità dalle parti centrali delle masse alle aree circostanti. Introducono dei metodi per analizzare delle informazioni strutturali simili a dei flussi orientati nelle mammografie.

Vengono proposte caratteristiche basate sull'orientamento del flusso in nastri adattivi di pixel lungo i margini delle masse per classificare le regioni rilevate come regioni di massa reali o falsi positivi (FP).

L'algoritmo di rilevamento della massa è stato in grado di rilevare con successo tutti i 13 tumori maligni, ma ha raggiunto un tasso di successo di solo il 63% (19/30) nel rilevamento delle masse benigne.

TOOLS

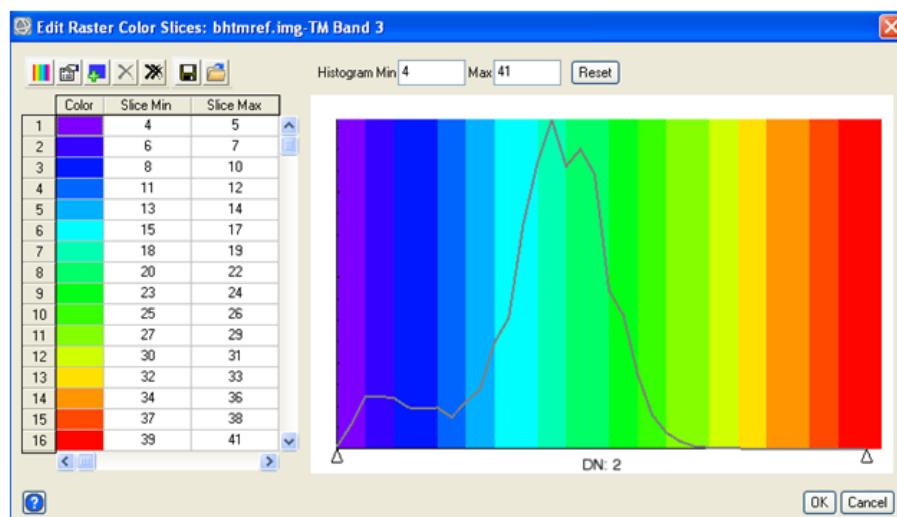
ENVI5.0: UNO DEI TOOL DI APPLICAZIONE DELLA TECNICA DI DENSITY SLICING

Il software di analisi delle immagini **ENVI** viene utilizzato da professionisti GIS, ovvero scienziati di telerilevamento e analisi di immagini per estrarre informazioni significative dalle immagini e per prendere decisioni migliori.

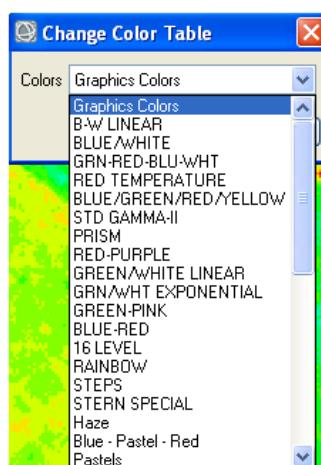
L'output dello strumento è ancora un raster di valori pixel mappati a colori e può essere trattato come una classificazione di immagine nell'elaborazione successiva.

Step Principali

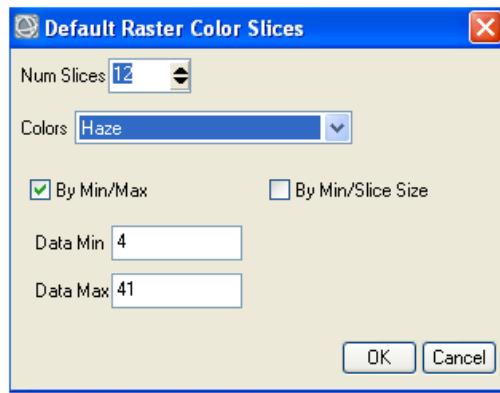
1. Dalla finestra di dialogo si accede ad un intervallo di dati predefinito, la tabella dei colori e il numero di sezioni:



2. "Cambia tabella colori" consente di scegliere tra delle tabelle di colori predefinite:

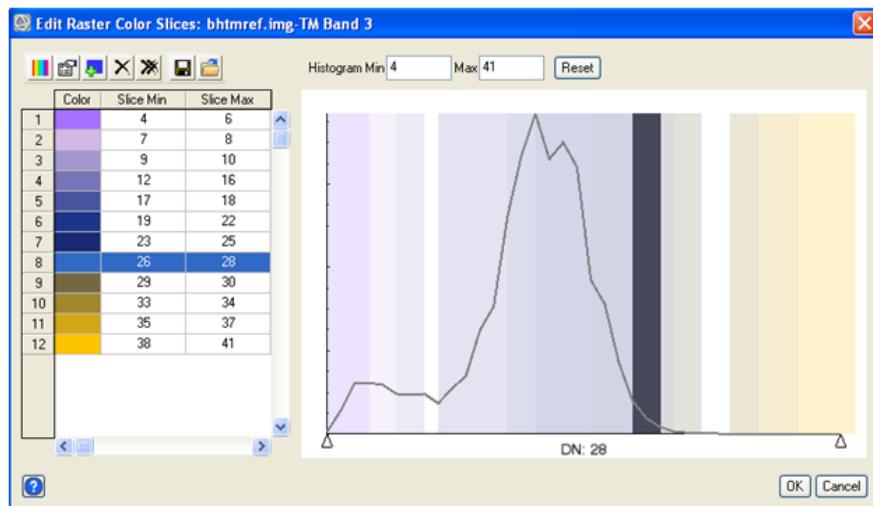


3. "New Default Color Slice" permette di cambiare il numero di slice e i valori a cui sono mappati.

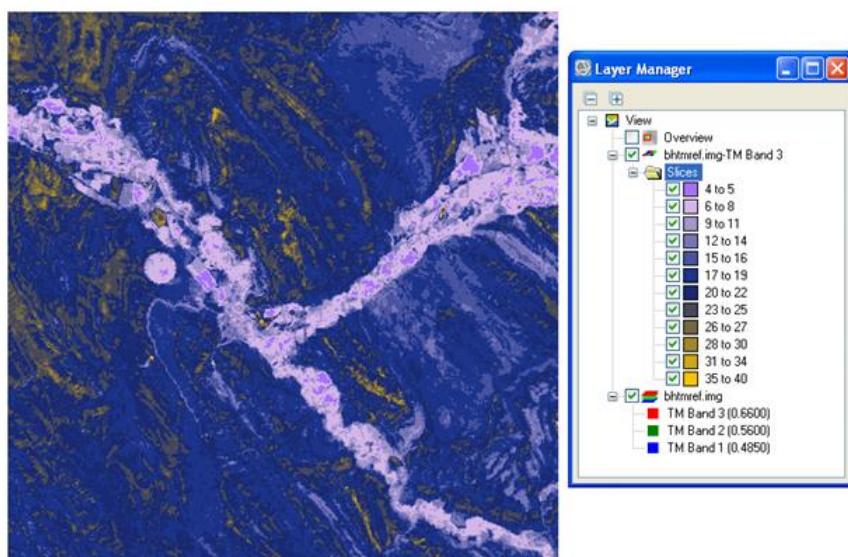


Nota

Una nuova funzionalità di ENVI 5.0 è la possibilità di spostare graficamente le sezioni di colore. È possibile evidenziare la sezione che si desidera modificare nel grafico come di seguito, quindi spostare i limiti della sezione per modificare la sezione minima e massima.



- Al termine, fare clic su OK e l'immagine risultante apparirà nella vista attiva con le sezioni che compaiono nel Gestore livelli:



Se si desidera modificare le sezioni di colore, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella *Slice* e seleziona Modifica sezioni di colore. Ciò consente di modificare le sezioni esistenti anziché generare un nuovo livello.

Le *statistiche* possono anche essere ottenute per una o tutte le sezioni facendo clic con il pulsante destro del mouse sulla sezione di interesse o sulla cartella *Slices*.

5. Choropleth

Un **choropleth** è un'immagine o una mappa in cui le aree sono colorate o modellate proporzionalmente alla categoria o al valore di una o più variabili rappresentate. Le variabili sono mappate su pochi colori; ogni area fornisce un punto di rilevamento dati e gli viene assegnato un colore tra quelli selezionati. Fondamentalmente si tratta di density slicing applicata a una sovrapposizione di pseudocolori. Una choropleth map di un'area geografica è quindi una forma estrema di falsi colori.

CHOROPLETH MAP

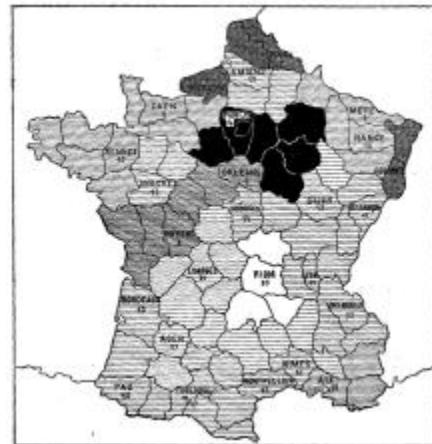
DEFINIZIONE

Una **choropleth map** è un tipo di mappa tematica in cui un insieme di aree predefinite è colorato o modellato in proporzione a una variabile statistica che rappresenta un riepilogo aggregato di una caratteristica geografica all'interno di ciascuna area, come la densità di popolazione o il reddito pro capite.

Le choropleth maps forniscono un modo semplice per visualizzare come varia una variabile in un'area geografica o mostrano il livello di variabilità all'interno di una regione.

STORIA

La prima choropleth map conosciuta fu creata nel 1826 dal barone **Pierre Charles Dupin**, raffigurante la disponibilità dell'istruzione di base in Francia per dipartimento. Più choropleth maps furono presto prodotte in Francia per visualizzare altre "statistiche morali" su istruzione, malattie, criminalità e condizioni di vita. Le choropleth maps guadagnarono rapidamente popolarità in diversi paesi a causa della crescente disponibilità di dati demografici compilati dai censimenti nazionali. Quando la cromolitografia divenne ampiamente disponibile dopo il 1850, il colore fu sempre più aggiunto alle choropleth maps.



Il termine "choropleth map" fu introdotto nel 1938 dal geografo **John Kirtland Wright** ed era di uso comune tra i cartografi negli anni Quaranta.

GEOMETRIA: DISTRETTI DI AGGREGAZIONE

In una choropleth map, i distretti sono solitamente entità precedentemente definite come **unità governative** o amministrative (ad esempio, contee, province, paesi), o **distretti** creati appositamente per l'aggregazione statistica (ad esempio, tratti di censimento), e quindi non hanno aspettative di correlazione con la geografia della variabile. Cioè, i confini dei distretti colorati possono o non possono coincidere con la posizione dei cambiamenti nella distribuzione geografica studiata.

L'utilizzo di regioni di aggregazione predefinite presenta una serie di **vantaggi**, tra cui: più facile compilazione e mappatura della variabile, la riconoscibilità dei distretti e l'applicabilità delle

informazioni ad approfondimenti e politiche legate ai singoli distretti. Un primo esempio di ciò sarebbero le elezioni, in cui il totale dei voti per ogni distretto determina il suo rappresentante eletto.

Tuttavia, può comportare una serie di **problemi**, generalmente dovuti al fatto che il colore costante applicato a ciascun distretto di aggregazione lo fa apparire omogeneo, mascherando un grado sconosciuto di variazione della variabile all'interno del distretto. Ad esempio, una città può includere quartieri con reddito familiare basso, moderato e alto, ma essere colorata con un colore "moderato" costante. Pertanto, i modelli del mondo reale potrebbero non essere conformi all'unità regionale simbolizzata. Per questo motivo, problemi come l'errore ecologico e il problema dell'unità areale modificabile (MAUP) possono portare a importanti interpretazioni errate dei dati rappresentati, e altre tecniche sono preferibili se si possono ottenere i dati necessari.

Questi problemi possono essere in qualche modo mitigati utilizzando distretti più piccoli, perché mostrano variazioni più sottili nella variabile mappata e la loro dimensione visiva più piccola e il numero maggiore riducono la probabilità che l'utente della mappa esprima giudizi sulla variazione all'interno di un singolo distretto. Tuttavia, possono rendere la mappa eccessivamente complessa, specialmente se non c'è un modello geografico significativo nella variabile (cioè, la mappa appare come colori sparsi in modo casuale). Sebbene la rappresentazione di dati specifici in grandi regioni possa essere fuorviante, le forme familiari dei distretti possono rendere la mappa più chiara e più facile da interpretare e ricordare. La scelta delle regioni dipenderà in ultima analisi dal pubblico e dallo scopo previsti della mappa.

PROPRIETÀ: RIEPILOGHI STATISTICI AGGREGATI

La variabile da mappare può provenire da un'ampia varietà di discipline nel mondo umano o naturale, sebbene i temi umani (ad esempio demografia, economia, agricoltura) siano generalmente più comuni. La variabile può anche essere in uno qualsiasi dei livelli di misurazione di Stevens: **nominale, ordinale** (variabili quantitative), **intervallo o rapporto** (variabili qualitative).

È importante notare che il livello di misurazione del singolo dato può essere diverso dalla statistica riassuntiva aggregata. Ad esempio, un censimento può chiedere a ogni individuo la sua "lingua parlata principale" (nominale), ma questo può essere riassunto su tutti gli individui in una contea come "percentuale che parla principalmente spagnolo" (rapporto) o come "lingua primaria predominante lingua "(nominale).

In generale, una choropleth map può rappresentare due tipi di variabili:

- Una **variabile spazialmente estensiva** (a volte chiamata *proprietà globale*) è quella che può essere applicata solo all'intero distretto, comunemente sotto forma di conteggi totali o quantità di un fenomeno. Si dice che le variabili estese siano *cumulative* nello spazio; ad esempio, se la popolazione del Regno Unito è di 65 milioni, non è possibile che anche le popolazioni di Inghilterra, Galles, Scozia e Irlanda del Nord possano essere 65 milioni. Invece, le loro popolazioni totali devono sommare (accumulare) per calcolare la popolazione totale dell'entità collettiva.
- Una **variabile spazialmente intensiva** (nota anche come *campo, superficie statistica o variabile localizzata*) rappresenta una proprietà che potrebbe essere misurata in qualsiasi posizione (un punto o una piccola area, a seconda della sua natura) nello spazio, indipendentemente da qualsiasi confine, sebbene la sua variazione su un distretto possa essere riassunta come un unico valore. Le variabili intensive comuni includono densità, proporzioni, tassi di variazione,

assegnazioni medie (per esempio, PIL pro capite) e statistiche descrittive (per esempio, Media, mediana, deviazione standard).

NORMALIZZAZIONE

La **normalizzazione** è la tecnica per derivare una variabile spazialmente intensiva da una o più variabili spazialmente estensive, in modo che possa essere utilizzata in modo appropriato in una choropleth map. Tipicamente, si ottiene calcolando il rapporto tra due variabili spazialmente estensive. Sebbene qualsiasi rapporto di questo tipo risulterà in una variabile intensiva, solo pochi sono particolarmente significativi e comunemente usati nelle choropleth maps:

- *Densità* = totale / area. Esempio: densità di popolazione
- *Proporzione* = totale sottogruppo / totale generale. Esempio: famiglie ricche come percentuale di tutte le famiglie.
- *Allocazione media* = importo totale / individui totali. Esempio: prodotto interno lordo pro capite (PIL totale / popolazione totale)
- *Tasso di variazione* = totale in un secondo momento / totale in un momento precedente. Esempio: tasso di crescita annuale della popolazione.

CLASSIFICAZIONE

Ogni choropleth map ha una strategia per mappare i valori ai colori. Una **choropleth map classificata** separa l'intervallo di valori in classi, a tutti i distretti di ciascuna classe viene assegnato lo stesso colore. Una **mappa non classificata** (a volte chiamata *n-class*) assegna in maniera direttamente proporzionale il colore per il valore di ogni distretto. A partire dalla mappa di Dupin del 1826, le choropleth maps classificate furono più diffuse. È probabile che ciò fosse originariamente dovuto alla maggiore semplicità dell'applicazione di una serie limitata di tinte; solo nell'era della cartografia computerizzata era possibile realizzare anche choropleth maps non classificate. Waldo R. Tobler, nell'introdurre formalmente lo schema non classificato nel 1973, affermò che si trattava di una rappresentazione più accurata dei dati originali e affermò che l'argomento principale a favore della classificazione, che è più leggibile, doveva essere testato.

Il dibattito e gli esperimenti che seguirono giunsero alla conclusione generale che il vantaggio principale delle choropleth maps non classificate, era che consentivano ai lettori di vedere sottili variazioni nella variabile, senza indurli a credere che i quartieri che ricadevano nella stessa classe avevano valori identici.

L'argomento principale a favore delle choropleth maps classificate è che sono più semplici da elaborare per i lettori, a causa del minor numero di sfumature distinte da riconoscere, che riduce il carico cognitivo e consente loro di abbinare con precisione i colori nella mappa ai valori elencati nella legenda.

La classificazione viene eseguita stabilendo una **regola di classificazione**, una serie di soglie che suddividono l'intervallo quantitativo di valori variabili in una serie di classi ordinate.

Sono stati sviluppati vari tipi di regole di classificazione per le choropleth maps:

- *Le regole esogene* importano le soglie senza tenere conto dei modelli nei dati disponibili.
 - *Le regole stabilità* sono quelle già di uso comune a causa di ricerche scientifiche passate o politiche ufficiali. Un esempio potrebbe essere l'utilizzo di scaglioni fiscali governativi o una soglia di povertà standard per la classificazione dei livelli di reddito.

- Le **strategie ad hoc** o di buon senso sono essenzialmente inventate dal cartografo utilizzando soglie che hanno un senso intuitivo. Un esempio potrebbe essere la classificazione dei redditi in base a ciò che il cartografo ritiene essere "ricco", "classe media" e "povero". Queste strategie generalmente non sono consigliate a meno che tutti gli altri metodi non siano fattibili.
- Le **regole endogene** si basano su modelli nel set di dati stesso.
 - Le **regole di interruzioni naturali** cercano cluster naturali nei dati, in cui un gran numero di distretti ha valori simili con ampi divari tra di loro. Se questo è il caso, tali cluster sono probabilmente geograficamente significativi.
 - **Intervalli uguali** o una **progressione aritmetica** divide l'intervallo di valori in modo che ogni classe abbia un intervallo di valori uguale: $(\max - \min) / n$.
 - Una **regola di deviazione standard** genera anche intervalli di valori uguali, ma invece di iniziare con i valori minimo e massimo, inizia dalla media aritmetica dei dati e stabilisce un'interruzione ad ogni multiplo di un numero costante di deviazioni standard sopra e sotto la media.
 - I **quantili** dividono il set di dati in modo che ogni classe abbia un numero uguale di distretti. Potrebbe essere necessario apportare modifiche quando il numero di distretti non si divide in modo uniforme o quando valori identici superano la soglia.
 - Una **regola di progressione geometrica** divide l'intervallo di valori in modo che il rapporto delle soglie sia costante (anziché il loro intervallo come in una progressione aritmetica).
 - Una **regola annidata** o **Head / tail Breaks** è un algoritmo che divide ricorsivamente il set di dati impostando una soglia in base alla media aritmetica, quindi suddividendo ciascuna delle due classi create con le rispettive medie e così via. Pertanto, il numero di classi non è arbitrario, ma deve essere una potenza di due. È stato suggerito che questo funzioni bene anche per distribuzioni molto distorte.

Poiché le soglie calcolate possono spesso essere a valori precisi che non sono facilmente interpretabili dai lettori di mappe, è comune creare una **regola di classificazione modificata** arrotondando i valori di soglia a un numero semplice simile.

PROGRESSIONE DEL COLORE

L'elemento finale di una choropleth map è l'insieme di colori usati per rappresentare i diversi valori della variabile. Esistono diversi approcci a questo compito, ma il principale principio è che qualsiasi **ordine** nella variabile dovrebbe riflettersi nell'ordine percepito dei colori (ad es. Da chiaro a scuro). Ciò consentirà ai lettori di mappe di esprimere in modo intuitivo giudizi "di più o di meno" e di vedere tendenze e modelli con un riferimento minimo alla legenda.

Una seconda linea guida generale, almeno per le mappe classificate, è che i colori dovrebbero essere facilmente **distinguibili**, in modo che i colori sulla mappa possano essere abbinati in modo univoco a quelli nella legenda per determinare i valori rappresentati. Questo requisito limita il numero di classi che possono essere incluse; per le sfumature di grigio, i test hanno dimostrato che quando viene utilizzato il valore da solo (ad esempio, da chiaro a scuro, se grigio o qualsiasi tonalità singola), è difficile praticamente usare più di sette classi. Se vengono incorporate differenze di tonalità e/o **saturazione**, tale limite aumenta in modo significativo fino a 10-12 classi. La necessità di discriminare il colore è ulteriormente influenzata dalle carenze della visione dei colori; ad esempio, le combinazioni di colori che utilizzano il rosso e il verde per distinguere i valori non saranno utili per una parte significativa della popolazione.

I tipi più comuni di progressioni di colore usate nelle choropleth maps includono:

- Una **progressione sequenziale** rappresenta i valori delle variabili come valore del colore
 - Una **progressione in scala di grigi** utilizza solo sfumature di grigio.



- Una **progressione monocolore** sfuma da una tonalità scura del colore scelto (o grigio) a una tonalità molto chiara o bianca relativamente alla stessa tonalità. Questo è un metodo comune utilizzato per mappare la magnitudine. La tonalità più scura rappresenta il numero maggiore nel set di dati e la tonalità più chiara rappresenta il numero minimo.



- Una **progressione spettrale-parziale** utilizza una gamma limitata di tonalità per aggiungere più contrasto al contrasto del valore, consentendo l'utilizzo di un numero maggiore di classi. Il giallo è comunemente usato per l'estremità più chiara della progressione a causa della sua naturale leggerezza apparente. Le gamme di tonalità comuni sono giallo-verde-blu e giallo-arancio-rosso.



- Una **progressione divergente** o **bipolare** è essenzialmente due progressioni di colore sequenziali (dei tipi sopra) unite insieme a un colore chiaro comune o bianco. Sono normalmente utilizzati per rappresentare valori positivi e negativi o divergenza da una tendenza centrale, come la media della variabile da mappare. Ad esempio, una tipica progressione durante la mappatura delle temperature va dal blu scuro (per il freddo) al rosso scuro (per il caldo) con il bianco al centro. Questi sono spesso usati quando ai due estremi vengono dati giudizi di valore, come mostrare l'estremità "buona" come blu e l'estremità "cattiva" come rossa.



- Una **progressione spettrale** utilizza un'ampia gamma di tonalità (possibilmente l'intera ruota dei colori) senza differenze di valore intenzionali. Questo è più comunemente usato quando c'è un ordine per i valori, ma non è un ordine "più o meno", come la stagionalità.



- Una **progressione qualitativa** utilizza un insieme sparso di tonalità in nessun ordine particolare, senza alcuna differenza di valore. Questo è più comunemente usato con categorie nominali in una choropleth map qualitativa, come "la religione più diffusa".



CHOROPLETH MAP BIVARIATE

È possibile rappresentare due (e talvolta tre) variabili simultaneamente su una singola choropleth map rappresentando ciascuna con una progressione di una sola tonalità e mescolando i colori di ogni distretto.

Questa tecnica è generalmente utilizzata per visualizzare la correlazione e il contrasto tra due variabili che si ipotizza siano strettamente correlate, come il livello di istruzione e il reddito. Generalmente vengono utilizzati colori contrastanti ma non complementari, in modo che la loro combinazione sia intuitivamente riconosciuta come "tra" i due colori originali, come rosso + blu = viola. La tecnica funziona meglio quando la geografia della variabile ha un alto grado di autocorrelazione spaziale, in modo che ci siano ampie regioni di colori simili con cambiamenti graduali tra di loro; altrimenti la mappa può sembrare un miscuglio confuso di colori casuali. Si è scoperto che sono più facilmente utilizzabili se la mappa include una legenda attentamente progettata e una spiegazione della tecnica.

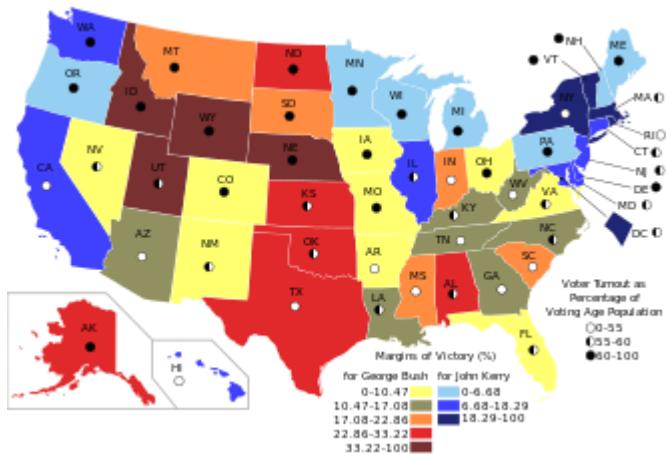
LEGENDA

Una choropleth map utilizza **simboli ad hoc** per rappresentare la variabile mappata. Mentre la strategia generale può essere intuitiva se viene scelta una progressione del colore che riflette l'ordine corretto, i lettori di mappe non possono decifrare il valore effettivo di ogni distretto senza una legenda. Una tipica **choropleth legend** per una choropleth map classificata include una serie di campioni di patch del simbolo per ciascuna classe, con una descrizione testuale del corrispondente intervallo di valori. Su una choropleth map non classificata, è comune che la legenda mostri un gradiente di colore uniforme tra i valori minimo e massimo, con due o più punti lungo di essa etichettati con valori corrispondenti.

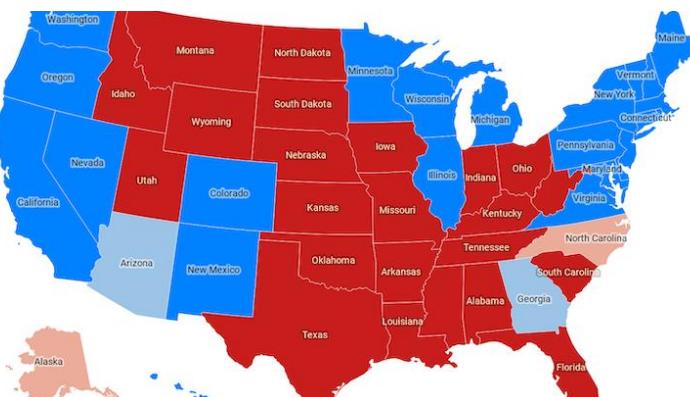
Un approccio alternativo è la **legenda dell'istogramma**, che include un istogramma che mostra la distribuzione di frequenza della variabile mappata (cioè, il numero di distretti in ciascuna classe). Ciascuna classe può essere rappresentata da una singola barra con la sua larghezza determinata dai suoi valori di soglia minimo e massimo e la sua altezza calcolata in modo tale che l'area del riquadro sia proporzionale al numero di quartieri inclusi, quindi colorata con il simbolo della mappa utilizzato per quella classe. In alternativa, l'istogramma può essere suddiviso in un gran numero di barre, in modo che ogni classe includa una o più barre, simbolizzate in base al proprio simbolo nella mappa. Questa forma di legenda mostra non solo i valori di soglia per ciascuna classe, ma fornisce un contesto per l'origine di tali valori, in particolare per le regole di classificazione endogena che si basano sulla distribuzione di frequenza, come i quantili.

ESEMPI APPLICATIVI

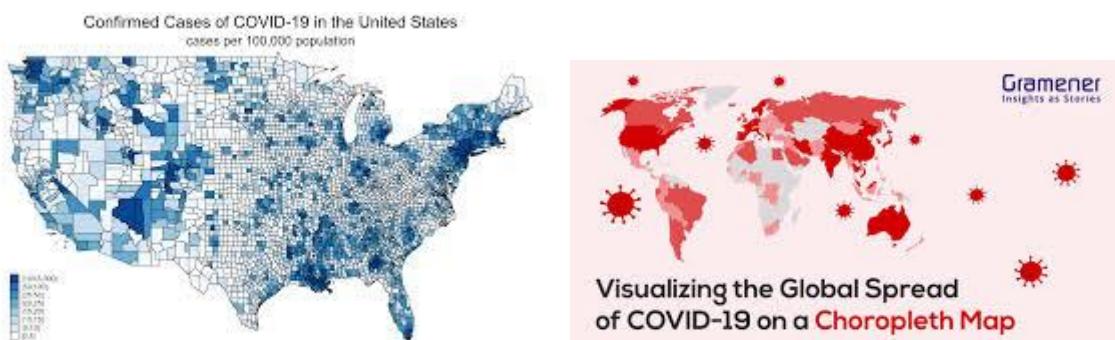
Le elezioni presidenziali statunitensi del 2004, visualizzate utilizzando una choropleth map. Al Partito Repubblicano e al Partito Democratico vengono tradizionalmente assegnati rispettivamente colori rosso e blu.



Mappa elezioni presidenziali statunitensi del 2020 tra Biden e Trump



Mappa contagi Covid-19 negli Stati Uniti e nel mondo.



COLOR BREWER

È stato progettato con cura per essere uno strumento diagnostico per valutare la robustezza delle singole combinazioni di colori. L'uso completo di questo strumento andrà a vantaggio della progettazione delle mappe perché i colori (anche colori molto simili) sono facili da differenziare quando appaiono in una sequenza ben ordinata (come una legenda). Il compito di differenziare i colori, tuttavia, diventa molto più difficile quando i modelli sulla mappa sono complessi, come nell'angolo inferiore sinistro della mappa diagnostica.

È possibile impostare il numero di classi di dati, ovvero il numero di colori, che possono essere a singola o a multi-tonalità.

La scelta del numero di classi di dati è una parte importante della progettazione della mappa. L'aumento del numero di classi di dati si tradurrà in una mappa più "ricca di informazioni" riducendo la quantità di generalizzazione dei dati. Tuttavia, troppe classi di dati possono sovraccaricare il lettore di mappe con informazioni e distrarlo dal vedere le tendenze generali nella distribuzione. Inoltre, un gran numero di classi può compromettere la leggibilità della mappa: più classi richiedono più colori che diventano sempre più difficili da distinguere.

Molti cartografi consigliano di utilizzare da cinque a sette classi per una choropleth map.

Si può definire il tipo di schema di colore, tra schemi sequenziali, divergenti e qualitativi.

Inoltre, vi è la possibilità di usabilità come: color blind friendly, ovvero per non confondere le persone con daltonismo rosso-verde; compatibilità con stampa a colori, compatibilità con fotocopie e infine compatibilità con laptop.

Infine, è possibile definire contesto e sfondo della mappa, delimitando i confini con strade, città e frontiere. Inoltre, lo sfondo può essere impostato a tinta unita oppure come terreno.

CASO DALTONICI

Il daltonismo è un difetto di natura genetica che consiste nella ridotta capacità di distinguere i colori. Talvolta può essere considerato un vero e proprio inconveniente per tutti i progettisti che lavorano nel campo del design, o che devono mostrare delle immagini dove i colori hanno una parte fondamentale.

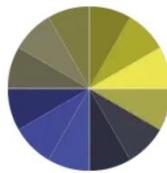
Le forme più comuni di daltonismo sono:

- Protanopia (insensibilità al colore rosso)
- Protanomalia (scarsa sensibilità al colore rosso)
- Deutanopia (insensibilità al colore verde)
- Deutanomalia (scarsa sensibilità al colore verde).

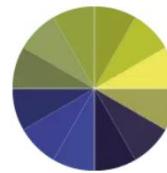
Molto più rari sono i casi di Tritanopia (insensibilità) e Tritanomalia (scarsa sensibilità) al blu e giallo.



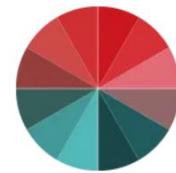
Visione normale



Protanopia



Deuteranopia



Tritanopia

Quello che sappiamo è che esiste una serie di combinazioni di colori che dovrebbero essere evitate, dal momento che potrebbe essere difficile distinguerli da una persona daltonica:

- rosso e verde
- rosso e marrone
- rosso e arancione
- rosso e viola
- rosso e nero
- verde e marrone
- verde e arancione
- verde chiaro e giallo
- blu e verde
- blu e viola
- blu e giallo

Conclusione

Dall'approfondimento condotto sugli Pseudocolor è emerso che rappresentano una tecnica utile nella maggior comprensione di dati raccolti durante ricerche in molto ambiti.

Si è visto, dunque, che il vantaggio di questa tecnica sta nella sua efficace applicazione ed implementazione. Quotidianamente, infatti, ci si imbatte in immagini che adottano questa tecnica, per mettere in luce alcuni aspetti rilevanti, nonostante, spesso, non ce ne accorgiamo.

Grazie all'attenzione nell'uso e alla scelta semantica dei colori, possiamo porre l'attenzione su diversi particolari, che con altre tecniche non emergono facilmente.

Fonti bibliografiche ed immagini

- <https://www.universetoday.com/11863/true-or-false-color-the-art-of-extraterrestrial-photography/>
- [*False Color, 1.4. Density slicing*, Wikipedia](#)
- [*Digital Image Processing*, Minakshi Kumar](#)
- [*Changes in turbidity along Ganga River using Sentinel-2 satellite data during lockdown associated with COVID-19*, Shiv Prasad Aggarwal, Prakash Chauhan](#)
- [*The use of step-wise density slicing in classifying high-resolution panchromatic photographs*, Hamisai Hamandawana, Frank D. Eckardt, S. Ringrose](#)
- [*Detection of breast masses in mammograms by density slicing and texture flow-field analysis*, N.R. Mudigonda; R.M. Rangayyan; J.E. Leo Desautels](#)
- [*ENVI 5.0: Applying Raster Color Slices or Density Slices*](#)
- https://en.wikipedia.org/wiki/False_color#Choropleth
- Choropleth map: https://en.wikipedia.org/wiki/Choropleth_map
- <https://datavizcatalogue.com/methods/choropleth.html>
- <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=75eff041036d40cf8e70df99641004ca>
- <https://colorbrewer2.org/#type=sequential&scheme=Purples&n=7>
- <https://i.redd.it/5e5xosxl3u131.jpg>