# **Principi e Metodi del Digitale**
# Lezione 6

Mario Verdicchio
Università degli Studi di Bergamo
A.A. 2026-2027

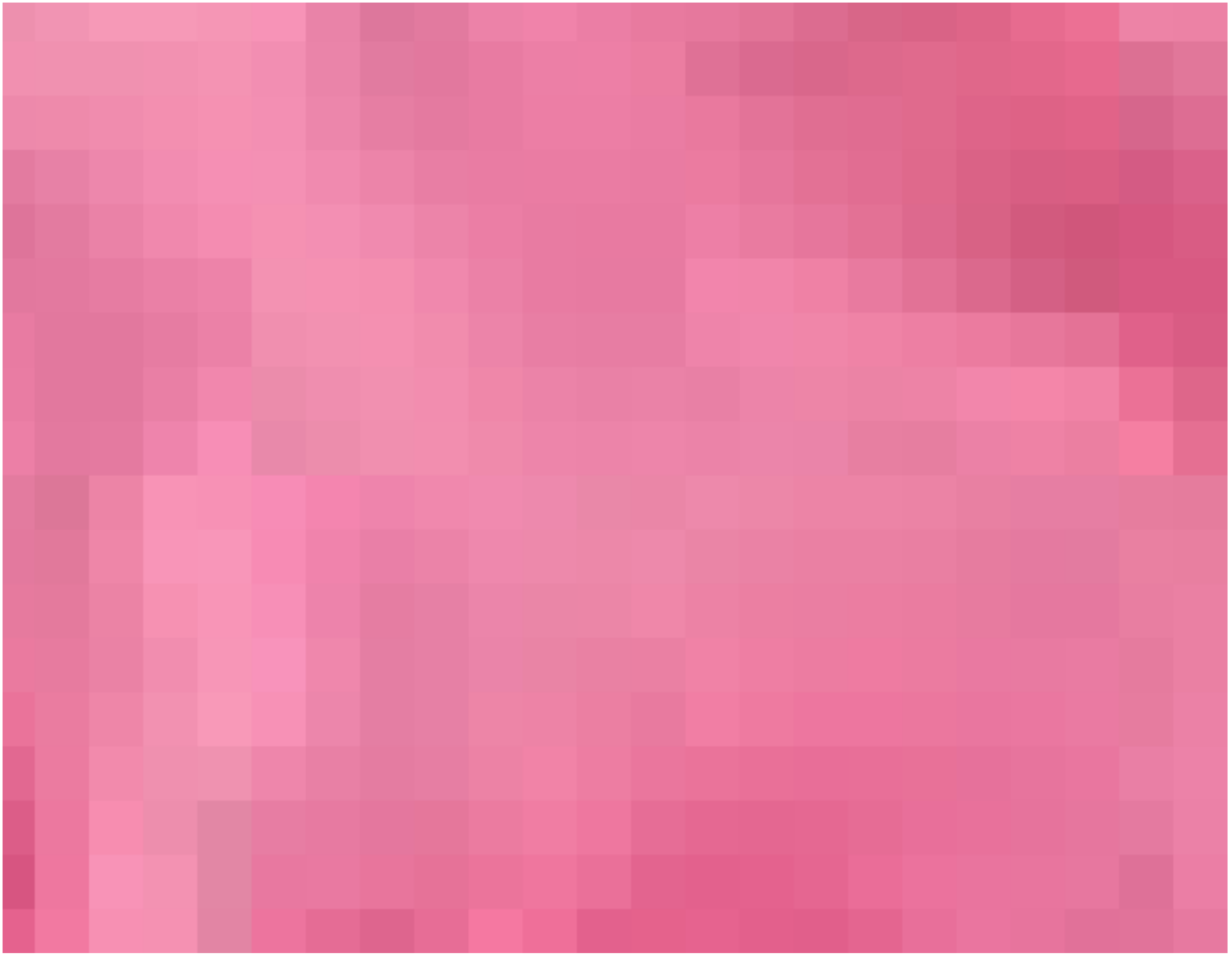
# Digitale

# Immagini digitali







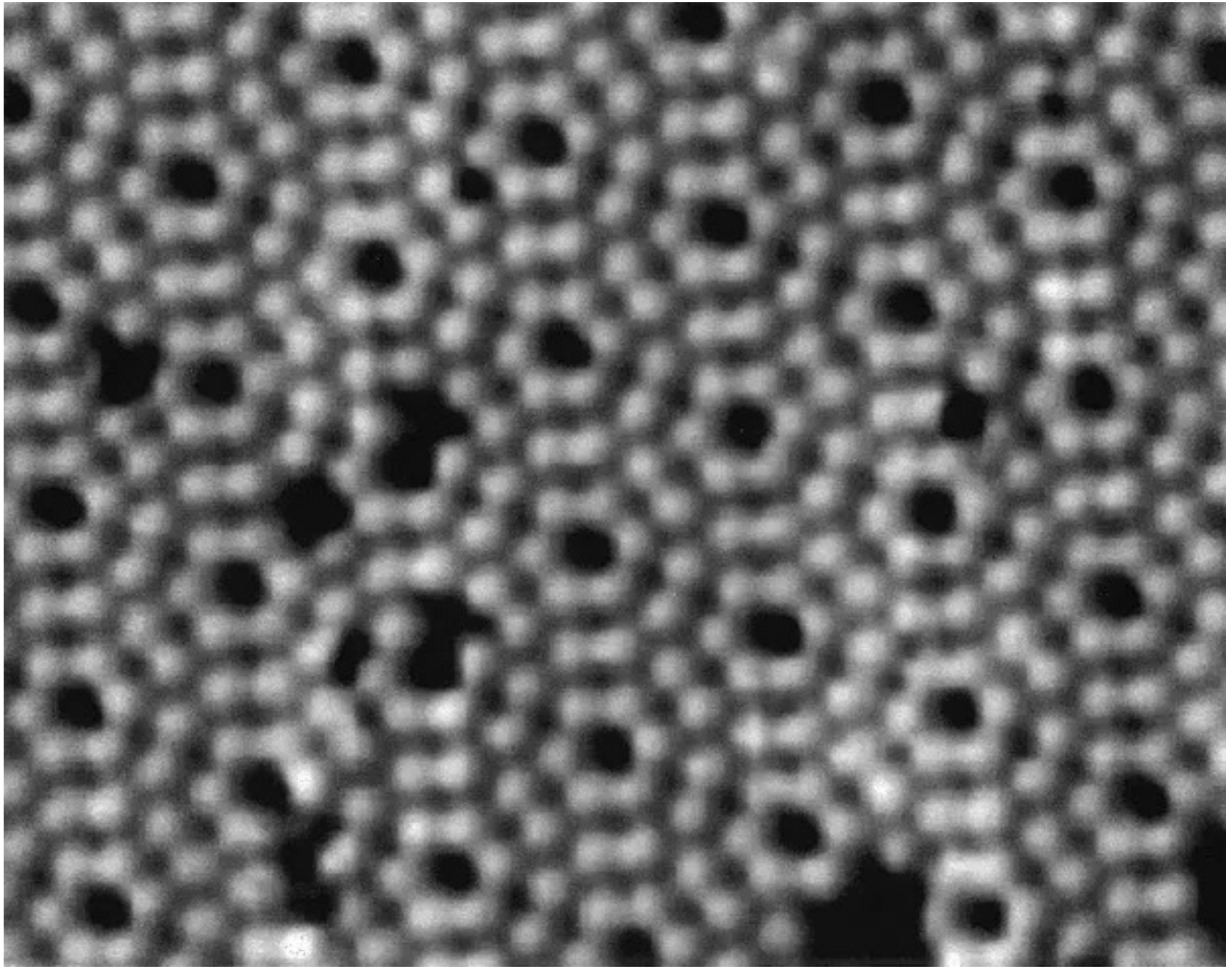


# Zoom in su un’immagine digitale

- Otteniamo una matrice rettangolare di pixel monocromatici
- Pixel: unione di “picture” e “element”
- Un pixel è l’elemento più piccolo in un’immagine digitale
- Matrice: sequenza di elementi organizzata in righe e colonne







# Zoom in su un oggetto fisico

- Finiamo per ottenere atomi
- Atomo: dal greco antico “atomos”, significa indivisibile
- Si pensava che l’atomo fosse la forma più piccola in cui la materia di potesse presentare
- Nel XX secolo è diventato chiaro che l’atomo può essere ulteriormente scisso

# Immagini digitali vs oggetti fisici

**Immagini digitali**

- I pixel sono piatti
- I pixel sono organizzati in matrici
- I pixel hanno un colore
- I pixel formano immagini

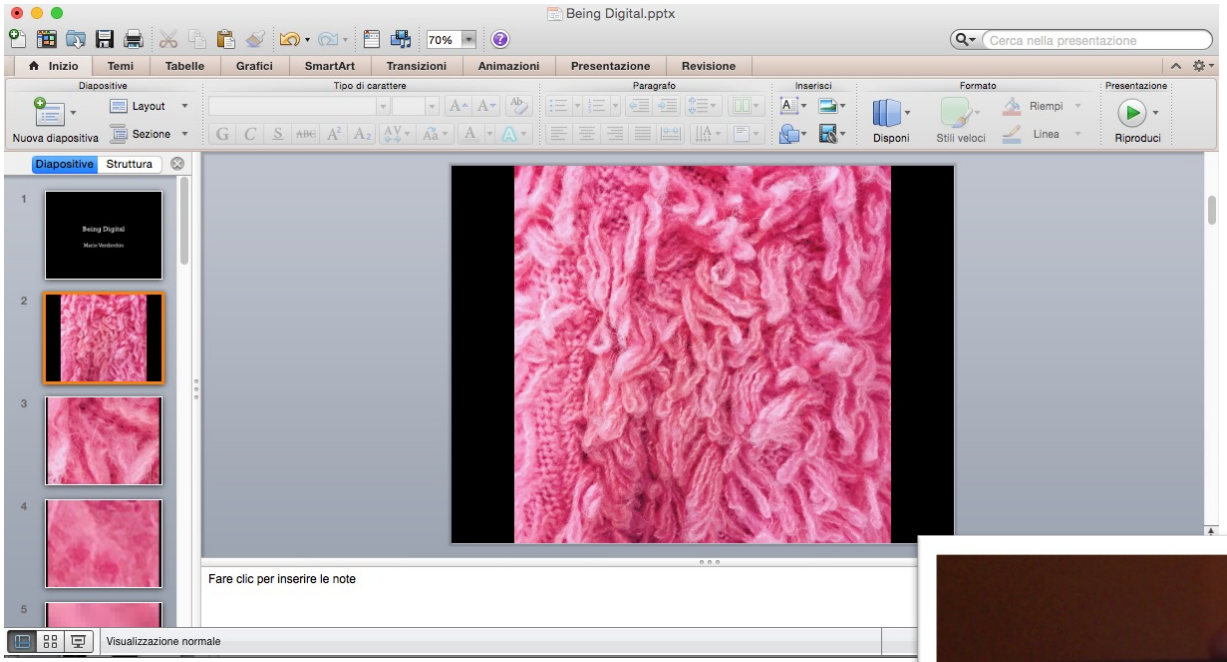
**Oggetti fisici**

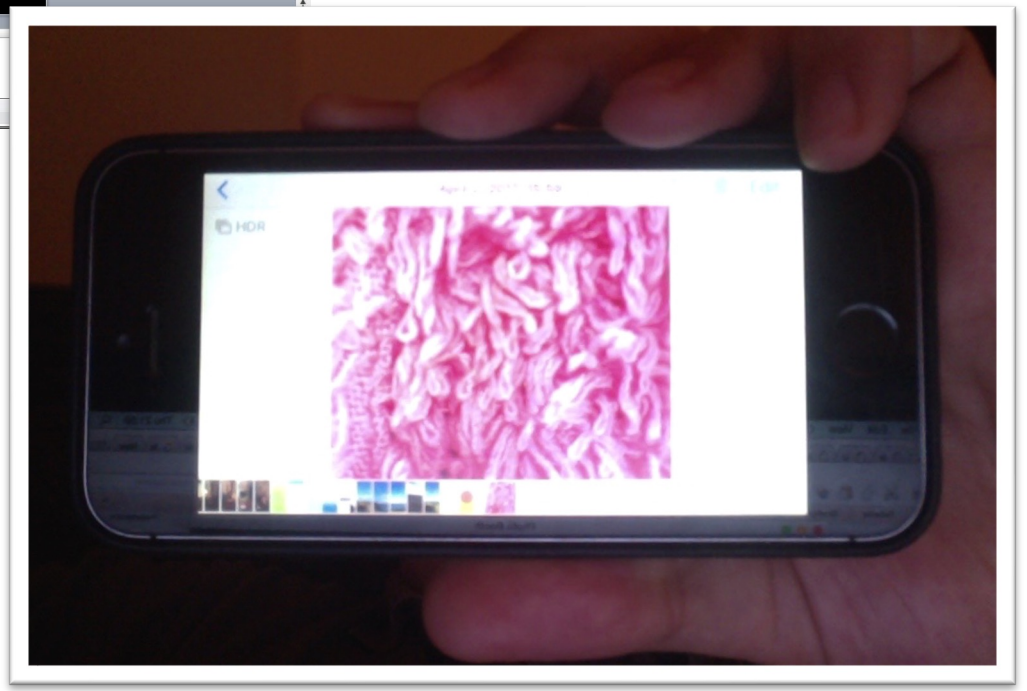
- Gli atomi sono sferici
- Gli atomi sono organizzati in forme solide di qualunque forma
- Gli atomi non hanno colore (sono troppo piccoli per avere un colore)
- Gli atomi formano oggetti

# L’universo fisico

- Ma tutto quello che esiste nell’universo non è fatto di atomi?
- Quindi, non è che anche le immagini digitali sono fatte di atomi?

# Non esattamente



# Non esattamente

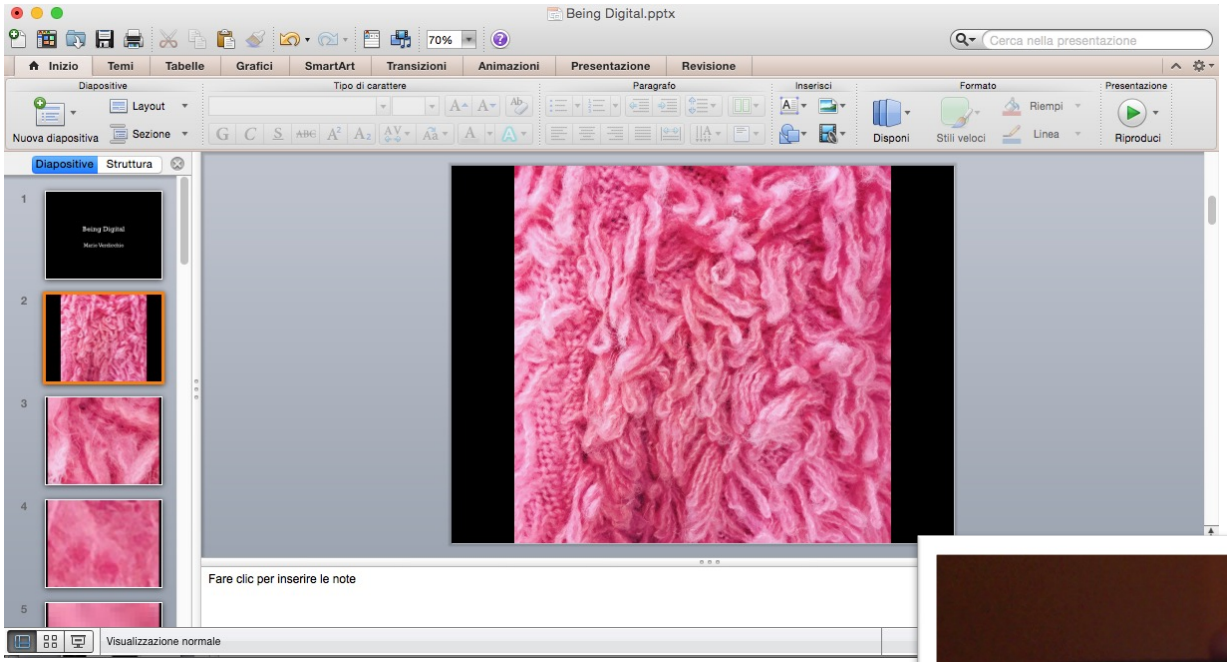
**Un'immagine digitale**

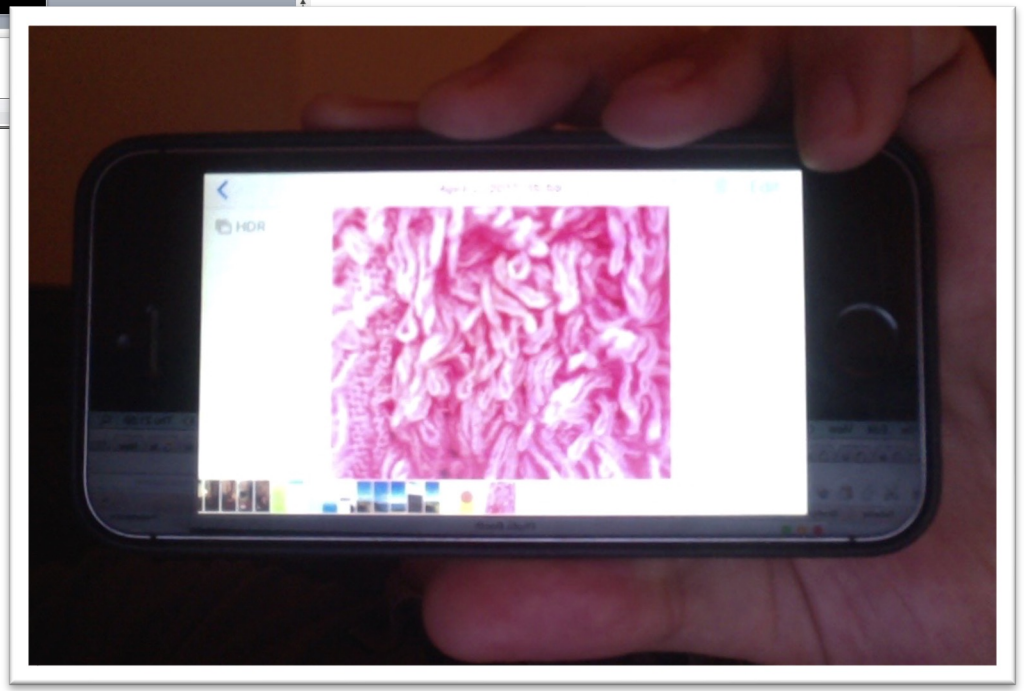
- può essere vista su uno smartphone
- può essere vista su un laptop
- può essere inviata per email
- può essere vista su uno smartphone E su un laptop contemporaneamente

**Un oggetto fisico**

- può essere posato sul pavimento
- può essere messo su un tavolo
- può essere spedito per posta
- NON può essere sul pavimento e sul tavolo contemporaneamente

# Però...



...sia uno smartphone sia un laptop sono oggetti fisici, senza i quali non saremmo in grado di vedere immagini digitali.

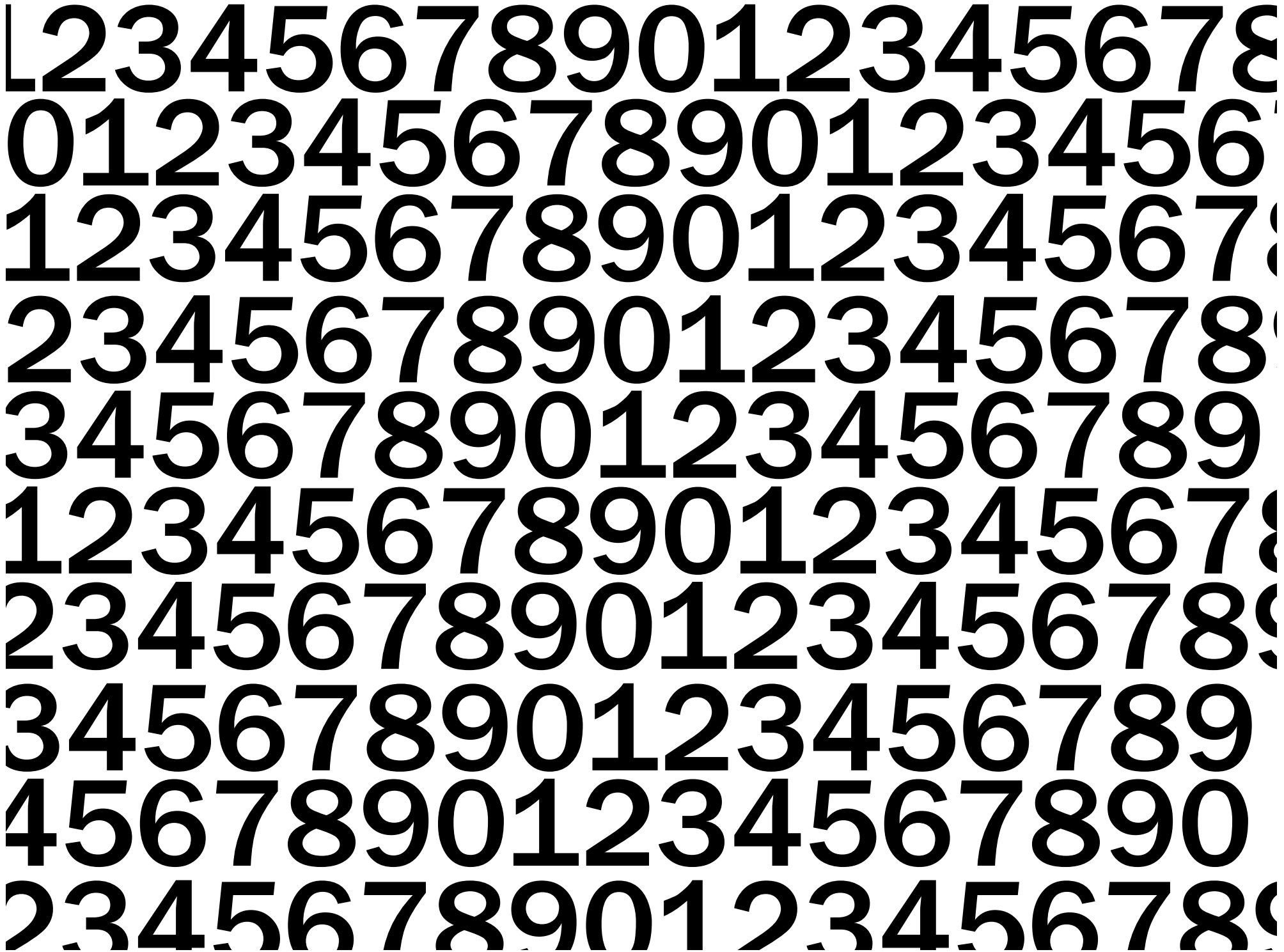
# Domande

- Qual è la vera natura delle immagini digitali?
- Non sono oggetti fisici, ma abbiamo bisogno di oggetti fisici per osservarle
- Che tipo di entità sono le immagini digitali?

# <Inserisci nome qui> digitale

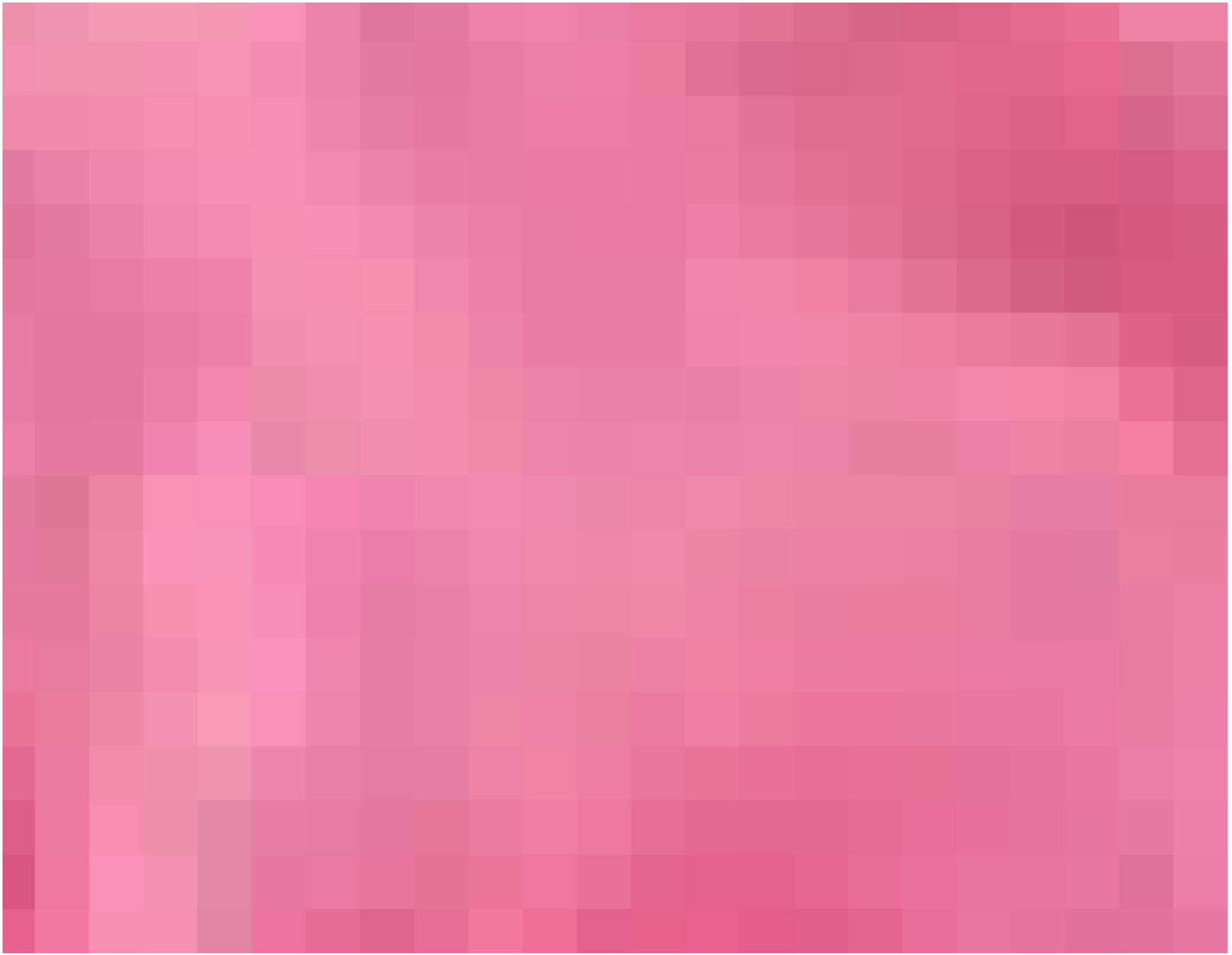
- Perché un’entità sia digitale, tale entità deve essere descritta in termini numerici
- Un’immagine digitale, ad esempio, è un’immagine che è descritta per mezzo di numeri

digitale

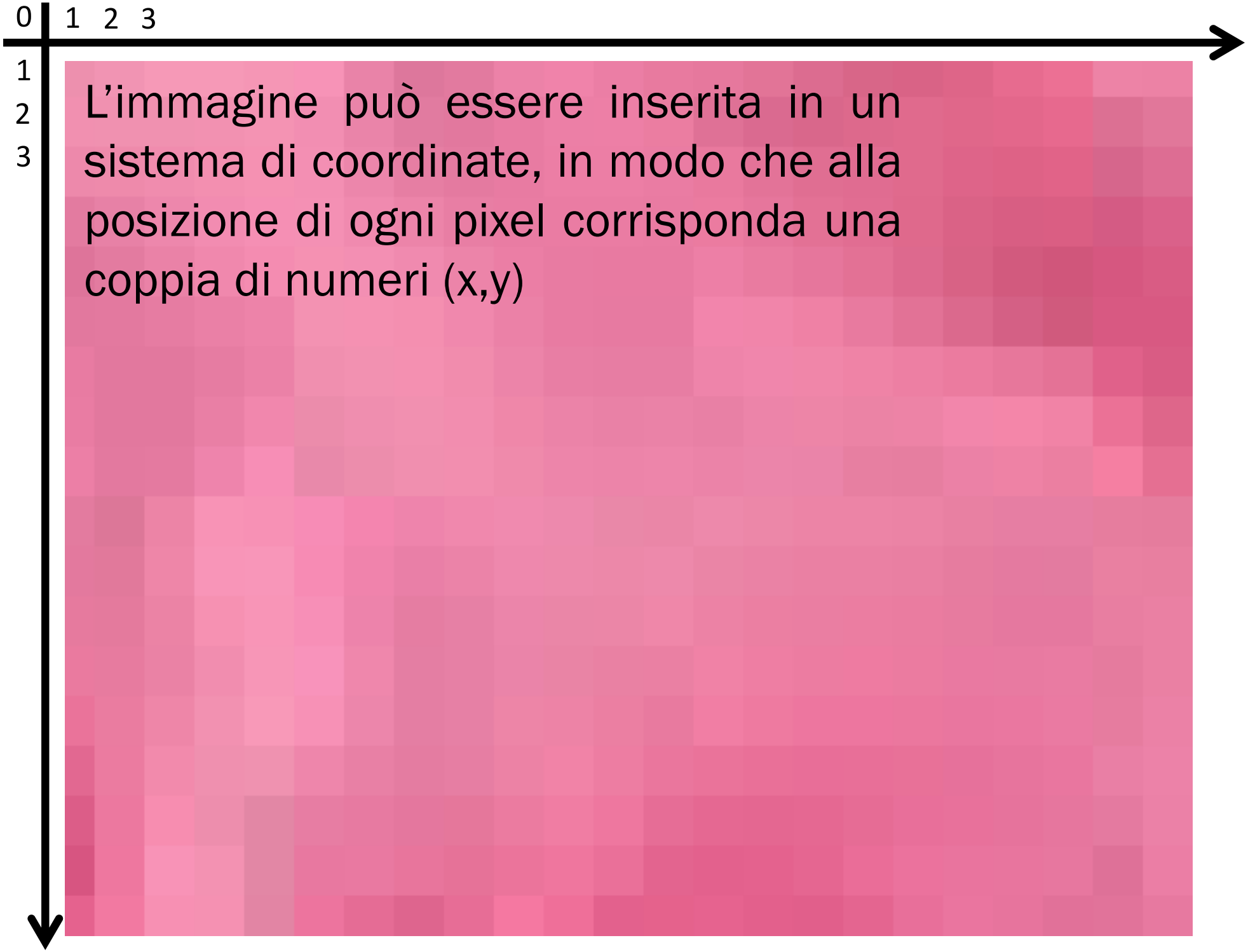

L234567890123456789
0123456789012345678
1234567890123456789
2345678901234567890
3456789012345678901
1234567890123456789
2345678901234567890
3456789012345678901
4567890123456789012
2345678901234567890



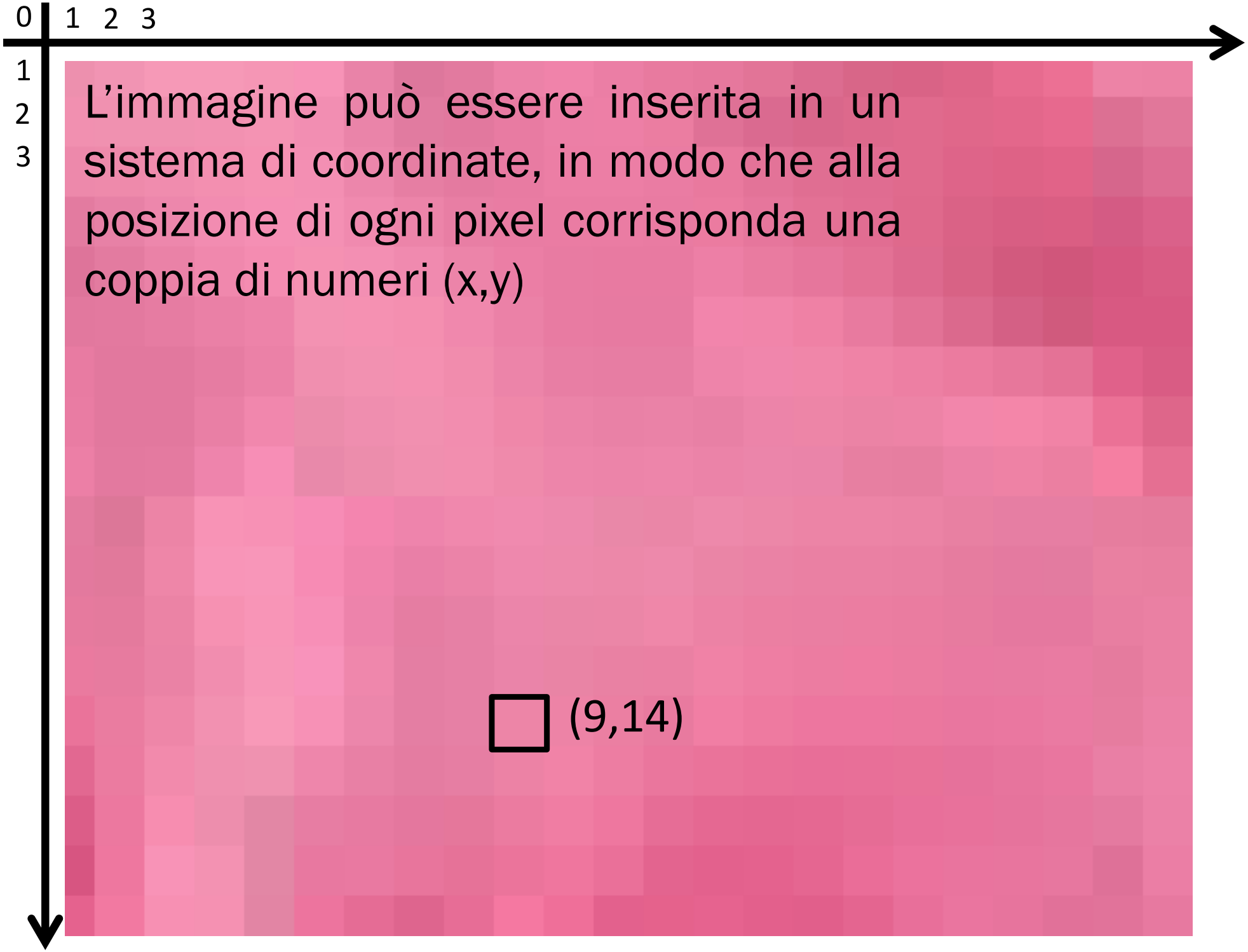


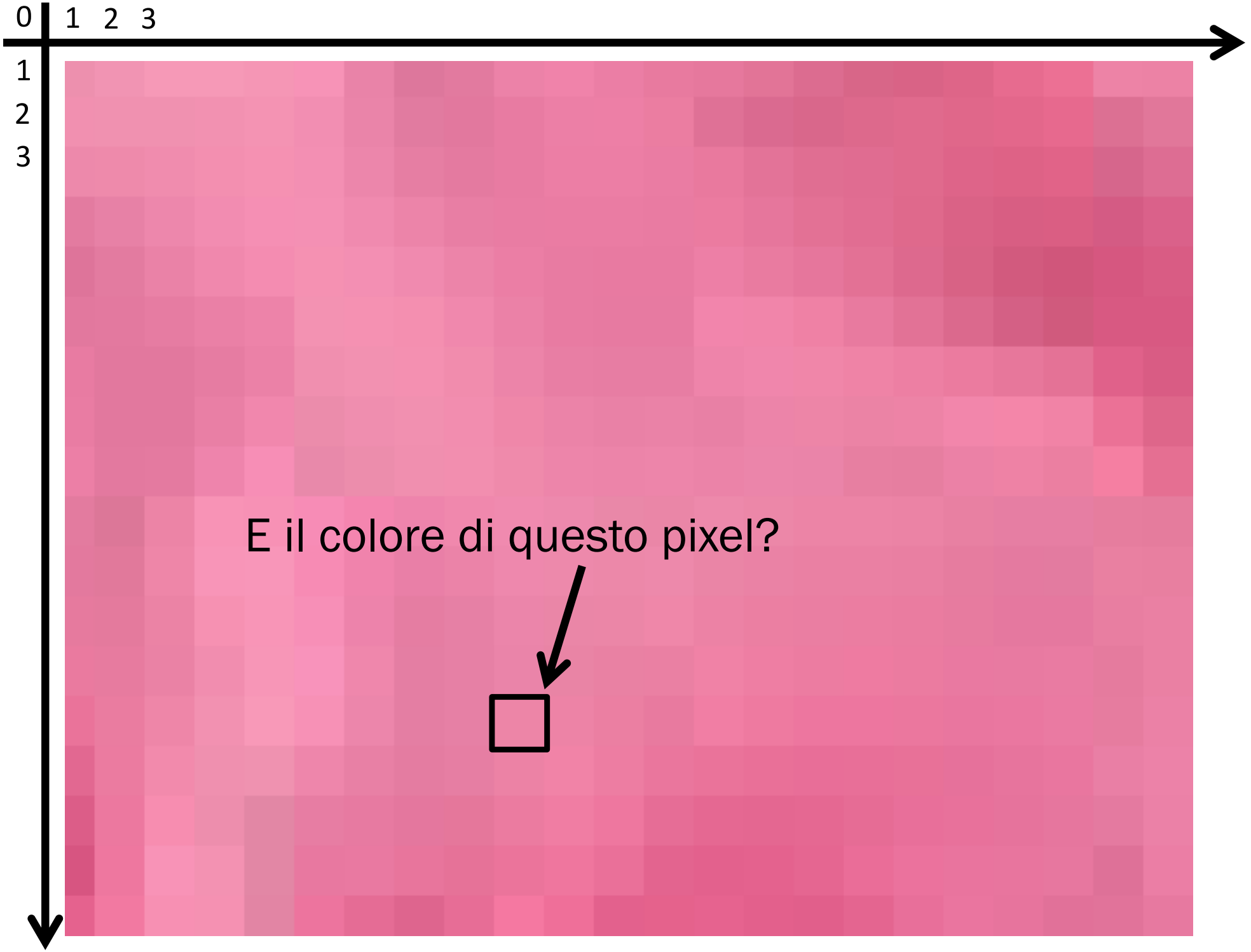


Dove sono i numeri?




L’immagine può essere inserita in un sistema di coordinate, in modo che alla posizione di ogni pixel corrisponda una coppia di numeri (x,y)

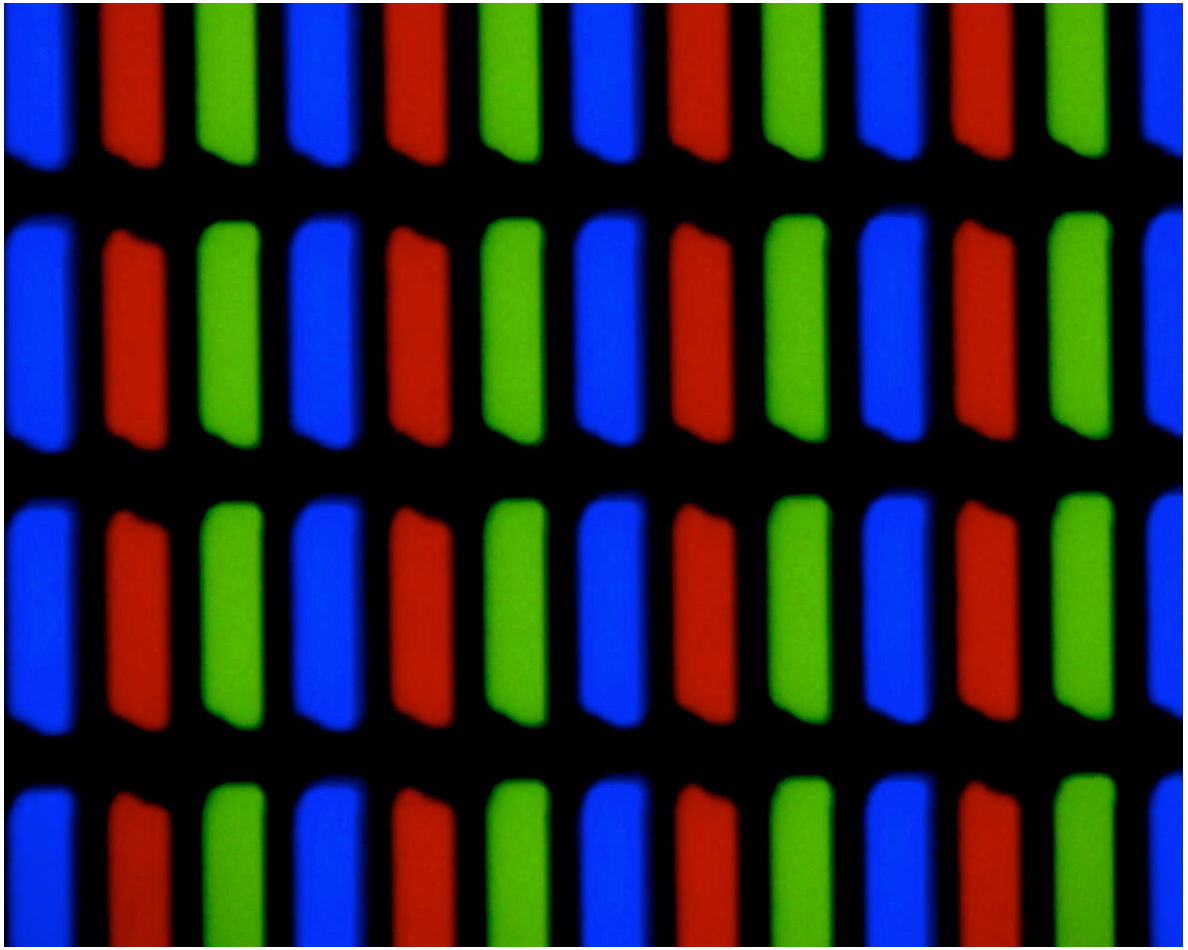

0 1 2 3
1
2
3
L’immagine può essere inserita in un sistema di coordinate, in modo che alla posizione di ogni pixel corrisponda una coppia di numeri (x,y)
(9,14)


0 1 2 3
1
2
3
E il colore di questo pixel?

# Un altro zoom:



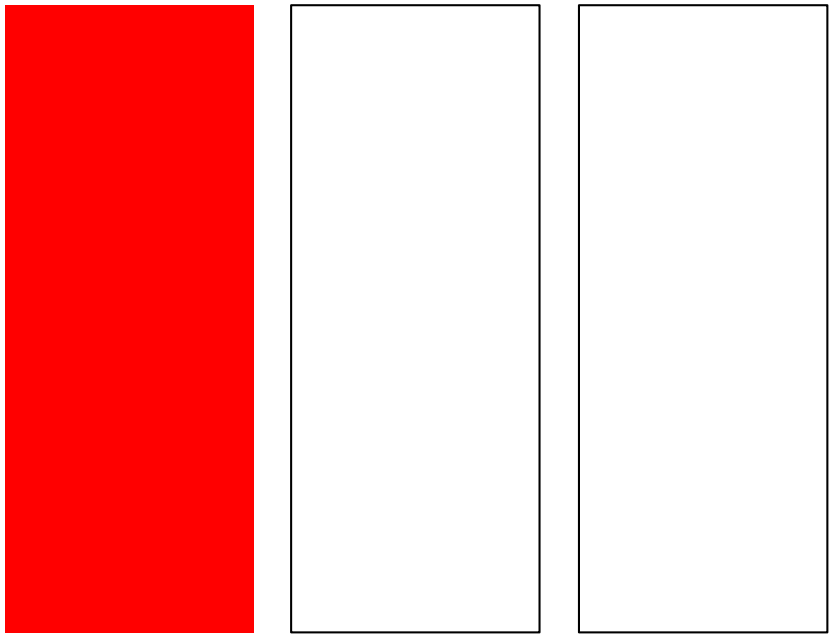
# Uno schermo, ingrandito 300 volte



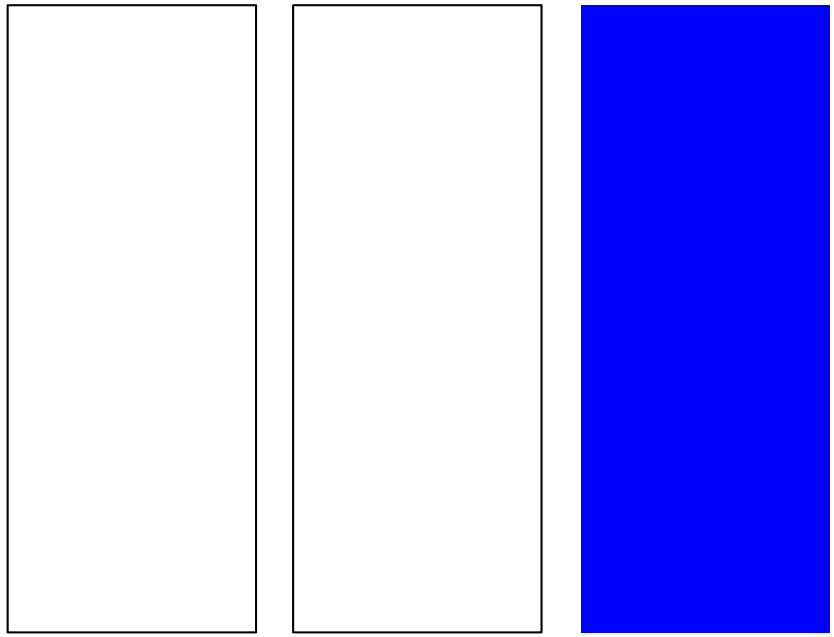
# L’origine dei colori

- I fisici hanno scoperto che tutta la luce colorata può essere suddivisa in tre componenti fondamentali: luce rossa, luce verde e luce blu
- I monitor sfruttano questo principio
- I monitor sono matrici rettangolari di triplette di LED (diodi emettitori di luce): uno rosso, uno verde, uno blu
- Calibrando la luminosità di ogni LED in una tripletta, possiamo fargli emettere qualsiasi colore dello spettro

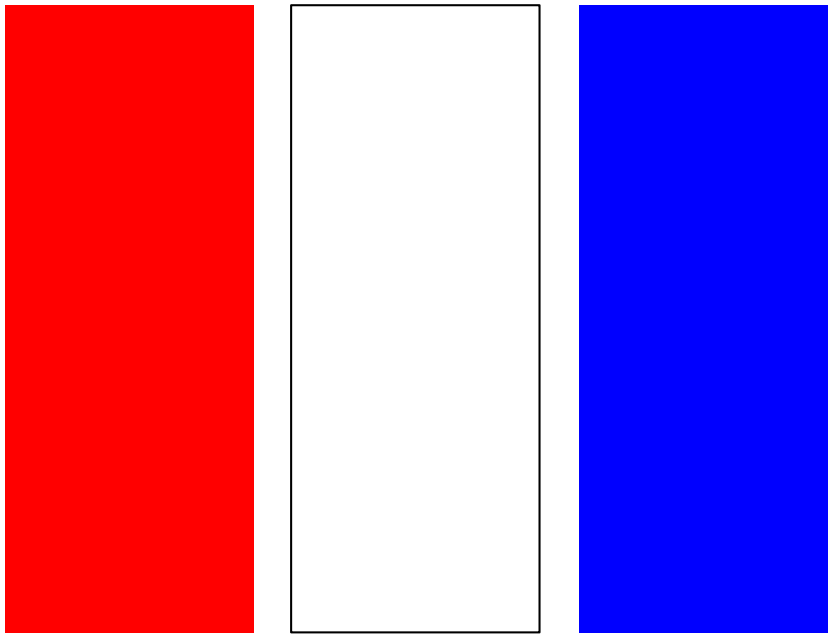
# Rosso puro



# Blu puro



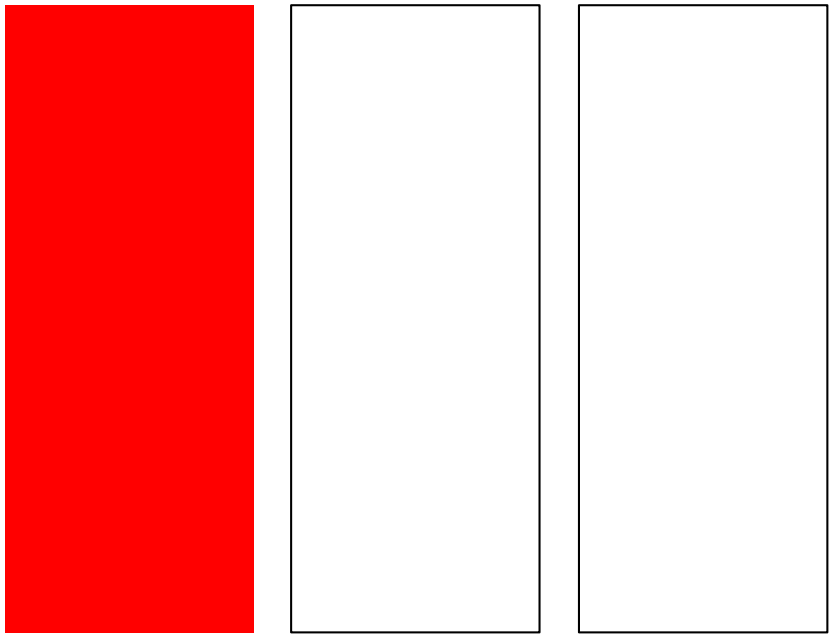
# Viola



# Colori e numeri

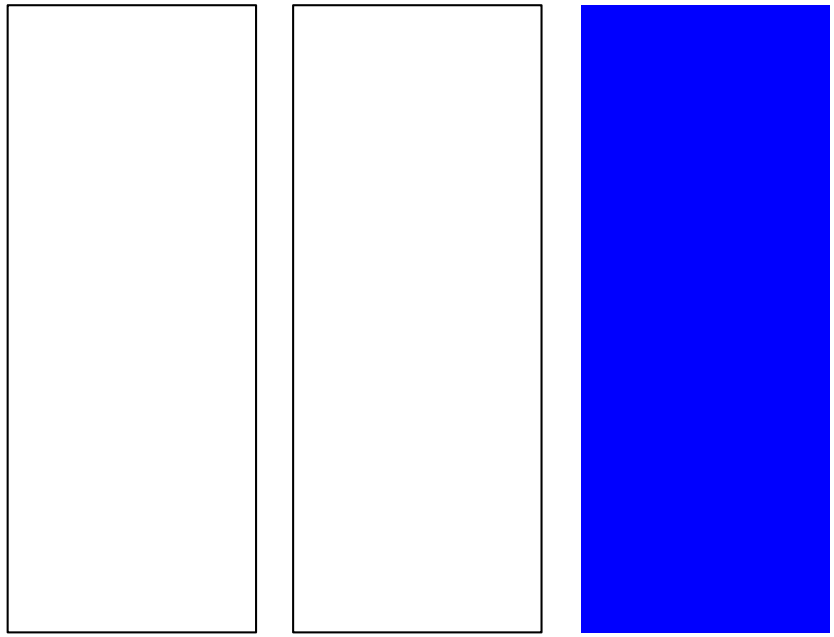
- I numeri possono essere usati per indicare la forza di ciascun componente nella terzina
- Più alto è il numero, più il componente partecipa alla miscela che produce il risultato finale
- Lo standard più diffuso specifica che questi numeri vanno da 0 (componente con contributo nullo) a 255 (contributo massimo)

# Rosso puro



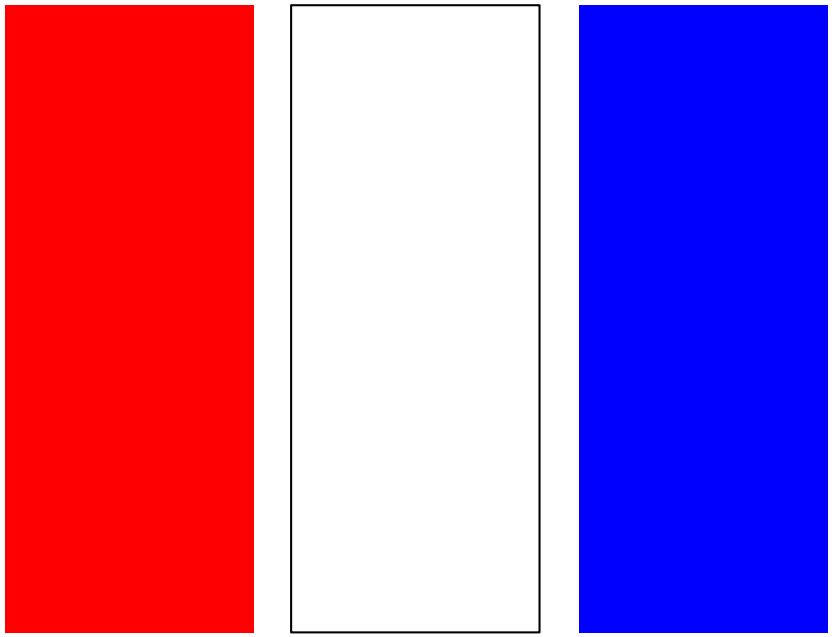
(255,0,0)

# Blu puro

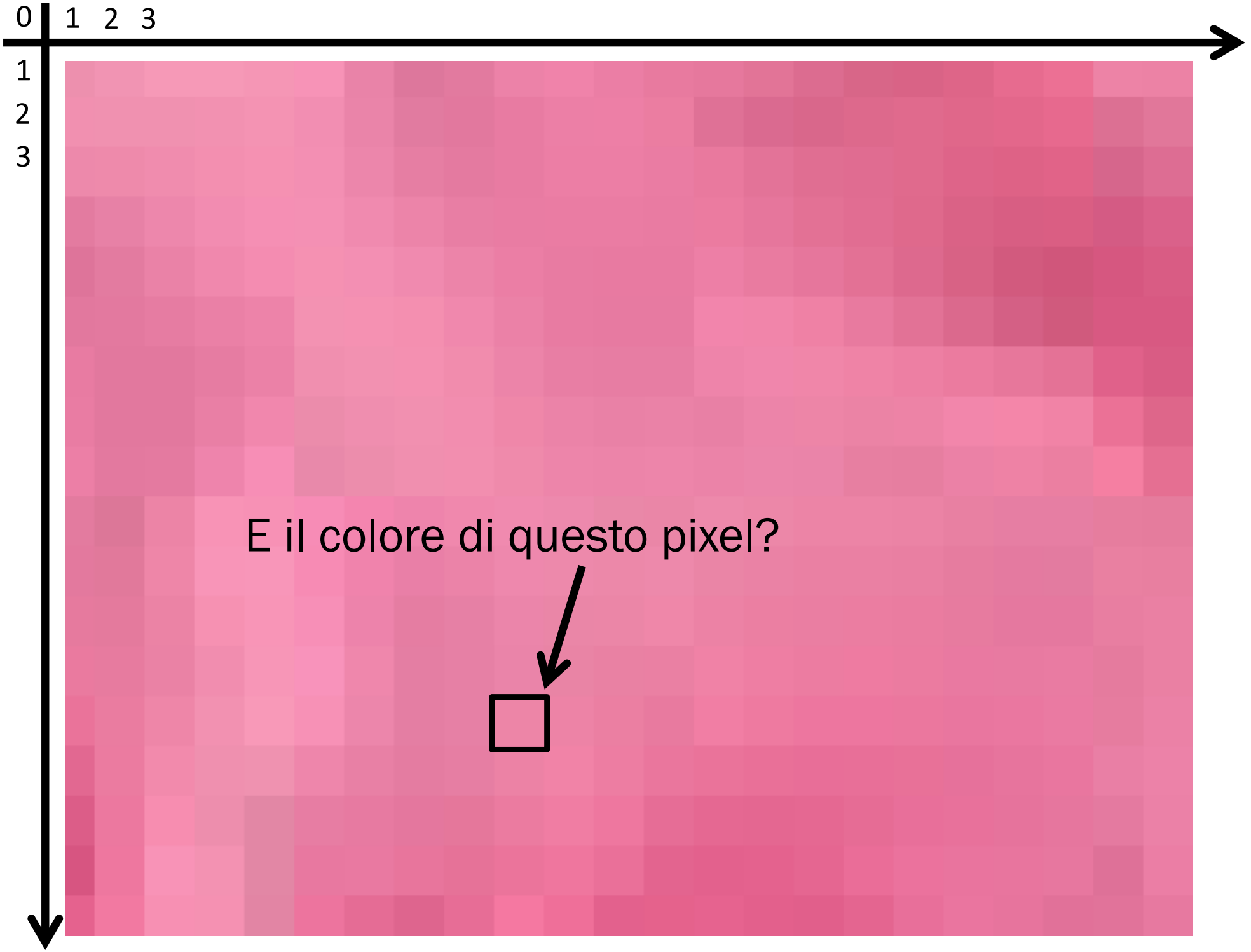


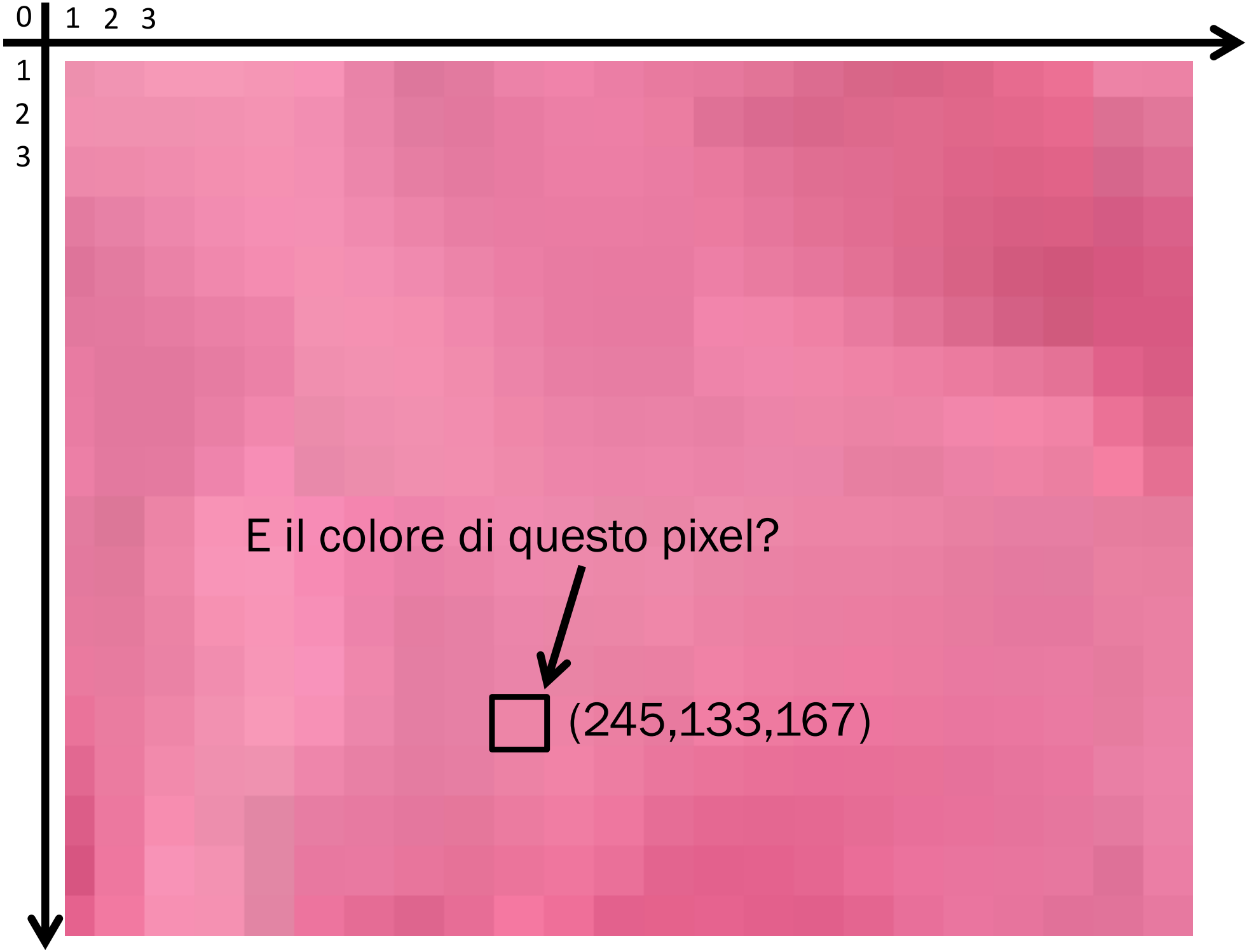
(0,0,255)

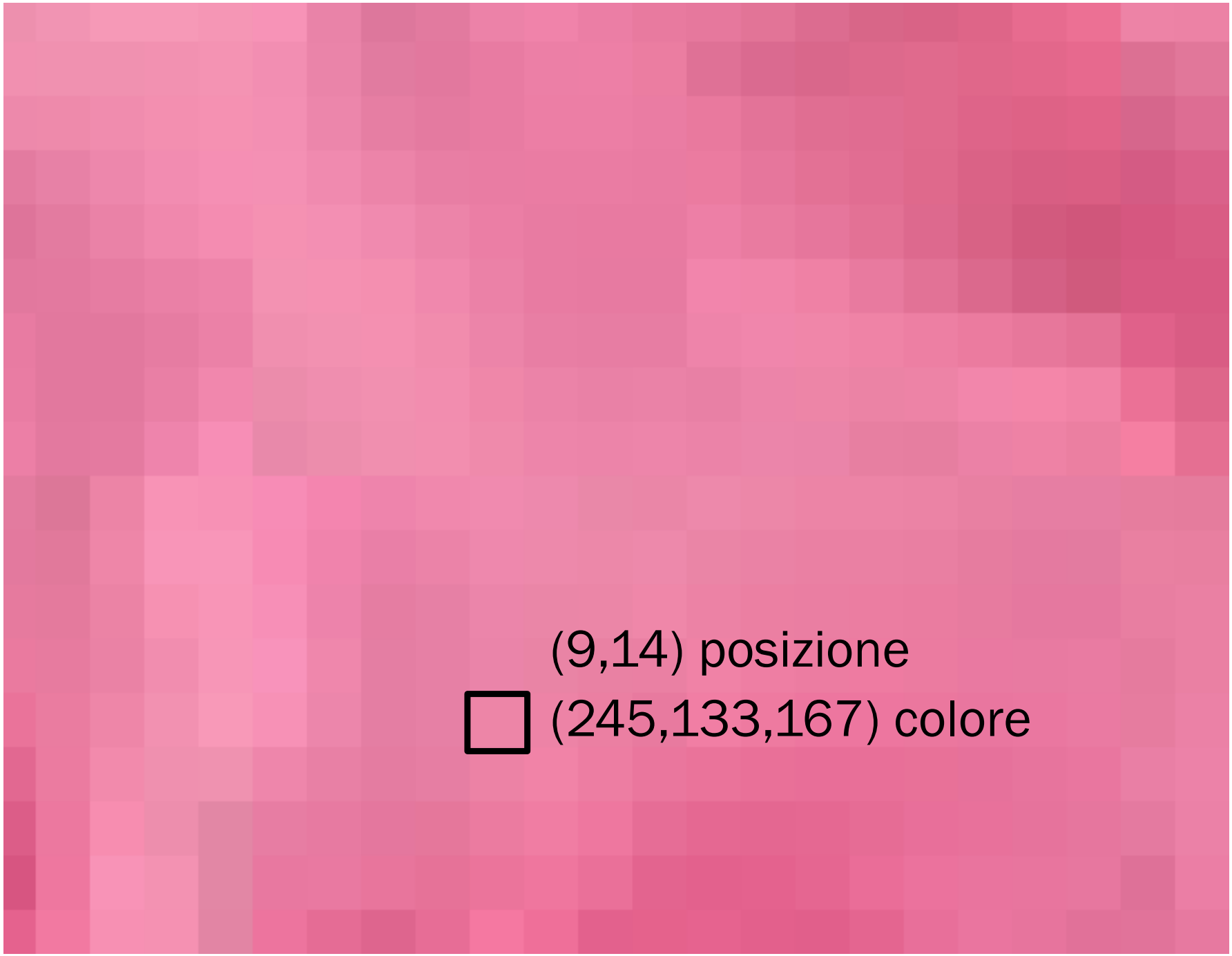
# Viola



(255,0,255)


0 1 2 3
1
2
3
E il colore di questo pixel?


0 1 2 3
1
2
3
E il colore di questo pixel?
(245,133,167)


(9,14) posizione
(245,133,167) colore


x y r g b
(9,14,245,133,167)

(9,14,245,133,167)

# Numberi che descrivono un pixel

- Anche se il pixel non c'è, i 5 numeri che descrivono la sua posizione all'interno dell'immagine e il suo colore sono sufficienti per ricreare il pixel quando necessario
- Applicando la stessa tecnica a tutti i pixel di un'immagine digitale, possiamo descrivere un'intera immagine con quintine di numeri e possiamo usare queste quintine per ricostruire l'immagine quando necessario

(9,14,245,133,167)

3,217) (8,87,245,133,167) (9,03,245,133,167) (9,18,245,13
3,152) (8,88,245,200,211) (9,04,245,133,167) (9,19,245,13
3,007) (8,89,245,150,167) (9,05,245,133,180) (9,20,245,13
3,098) (8,90,245,133,167) (9,06,245,133,167) (9,21,245,17
3,111) (8,91,245,133,167) (9,07,245,110,100) (9,22,215,13
3,167) (8,92,245,133,167) (9,08,245,133,200) (9,23,250,13
3,168) (8,93,245,099,001) (9,09,245,133,201) (9,24,245,13
3,122) (8,94,245,133,167) (9,10,251,133,167) (9,25,245,13
3,250) (8,95,245,133,167) (9,11,240,133,167) (9,26,245,13
3,077) (8,96,245,133,167) (9,12,245,133,088) (9,27,245,13
3,199) (8,97,245,133,167) (9,13,245,099,071) (9,28,245,13
3,023) (8,98,245,133,167) (9,14,245,133,167) (9,29,245,13
3,071) (8,99,245,133,167) (9,15,245,133,167) (9,30,245,13
3,185) (9,01,245,133,167) (9,16,245,099,121) (9,31,245,13
3,130) (9,02,245,133,167) (9,17,245,133,167) (9,32,245,13

# Immagini digitali

- Un'immagine digitale è un'immagine descritta in termini di numeri
- Chi ha i numeri è in grado di ricostruire quell'immagine
- Questo è ciò che rende le immagini digitali diverse dagli oggetti fisici: invece di muoverci tra oggetti, ci «muoviamo» tra numeri

# Lavorare coi numeri

- Le caratteristiche speciali delle immagini digitali derivano dal fatto che possiamo lavorare con i numeri in molti modi diversi



# La necessità di avere hardware

- Prima di tutto, i numeri da soli non possono creare nulla
- Abbiamo bisogno di un macchinario adatto che sia comandato da questi numeri e crei oggetti fisici di conseguenza
- Nel caso di immagini digitali, abbiamo bisogno di monitor e schermi (matrici di triplette di LED) che convertono i numeri in luce colorata

# La necessità di avere standard

- Inoltre, affinché possiamo lavorare con i numeri e utilizzarli per costruire immagini su diversi dispositivi in tutto il mondo, tutti devono concordare sulla corrispondenza tra numeri e posizione e colore dei pixel
- Uno standard è un accordo universale tra costruttori di hardware e produttori di contenuti su come verranno utilizzati i numeri per descrivere le immagini
- Gli standard famosi sono: RGB, JPG, BMP, TIF

# L’universo fisico e altro

- Non è comunque tutto ciò che esiste nell'universo fatto di atomi?
- No: un accordo tra persone non è fatto di atomi
- L'hardware che consente la creazione di immagini digitali è effettivamente costituito da oggetti fisici
- Tuttavia, gli standard che rendono possibile lo scambio di immagini digitali tra persone e dispositivi non sono fisici

# Essere digitale

- È possibile descrivere un'entità in termini di numeri
- Questi numeri possono essere scambiati tra persone, eventualmente con il supporto di computer e reti di telecomunicazione
- Il formato di questi numeri deve essere stabilito da standard universalmente condivisi
- Sono necessari dispositivi speciali per creare oggetti fisici dalla loro descrizione numerica

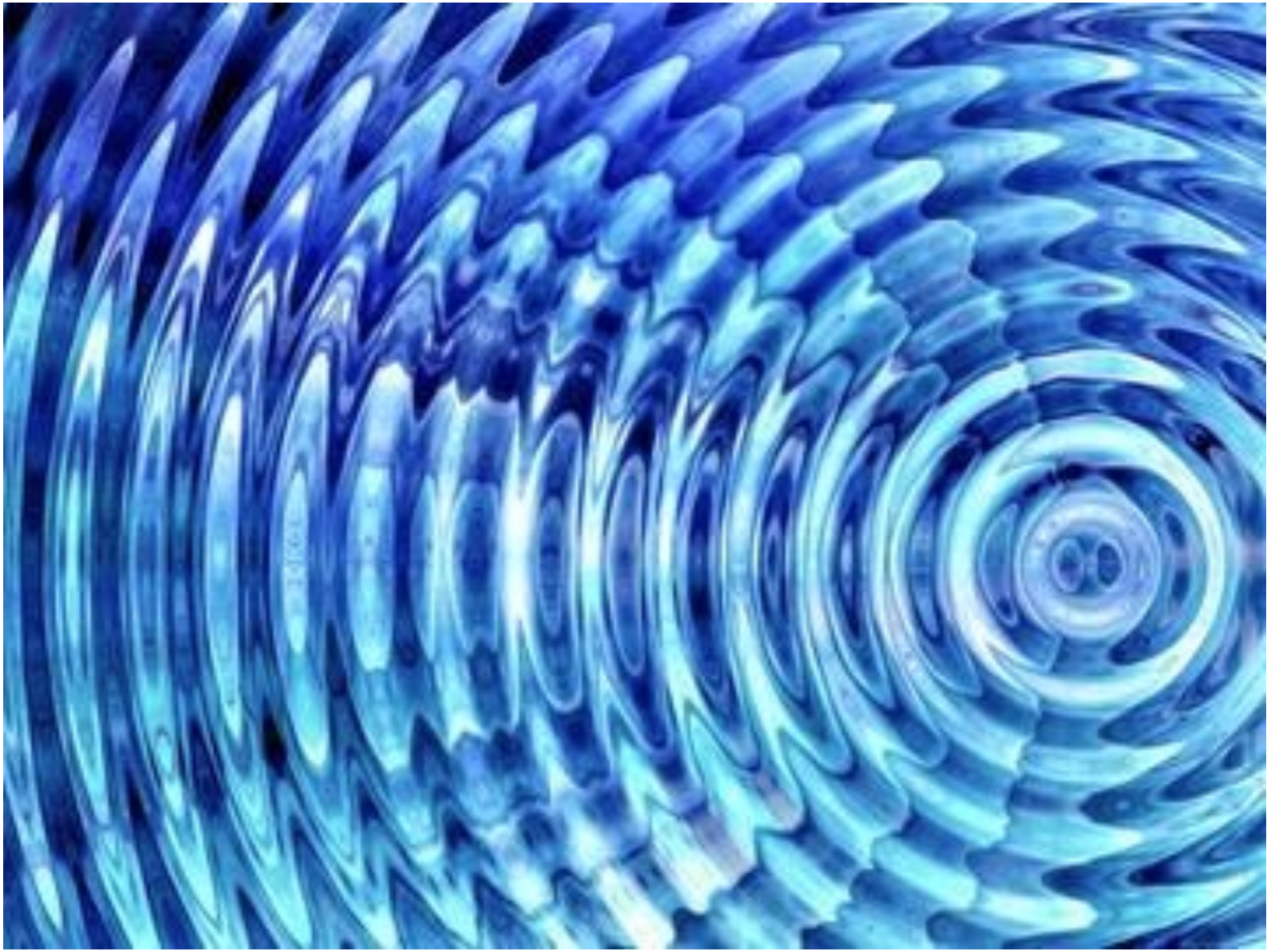
# Suoni digitali












VIBRAZIONI

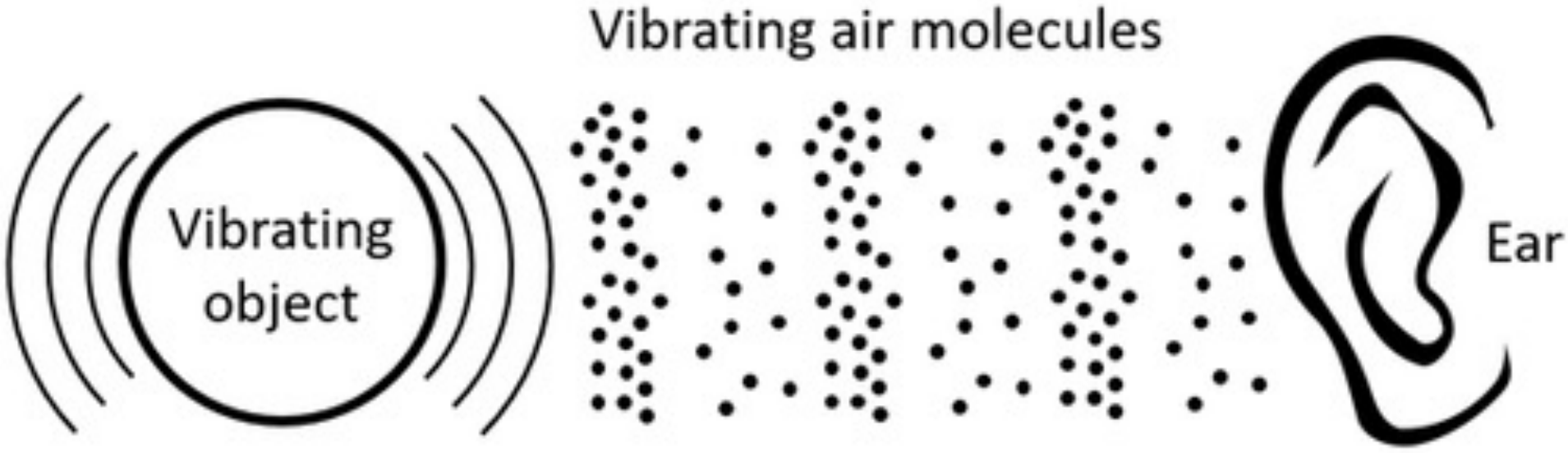
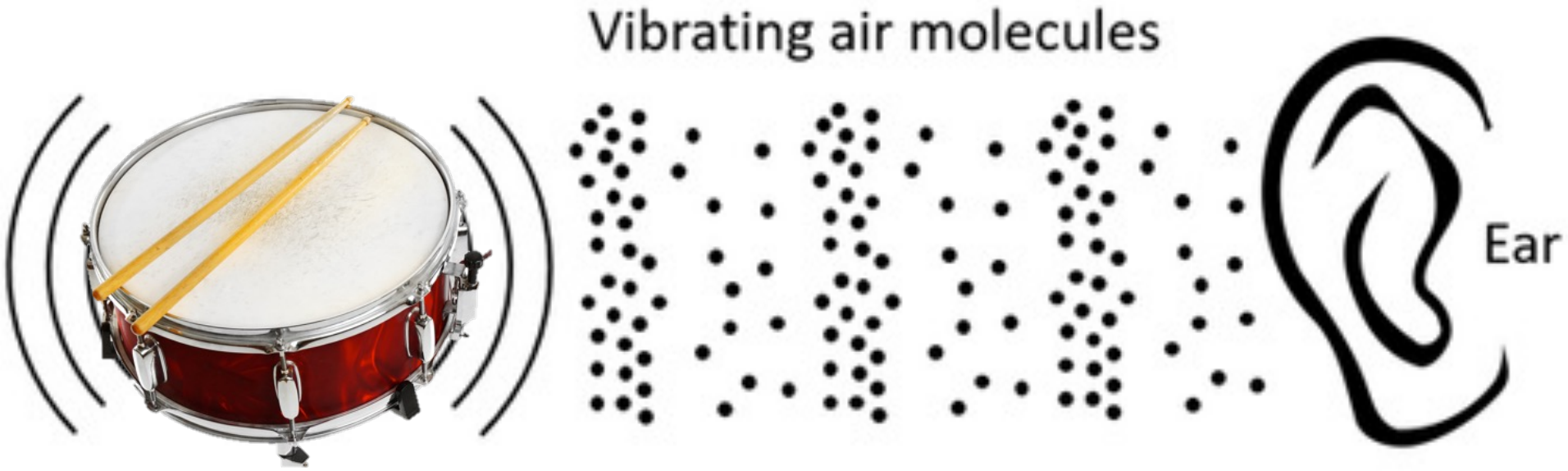



Immagine tratta da We Grow Thinkers. (http://wegrowthinkers.weebly.com/)


Vibrating air molecules
Ear

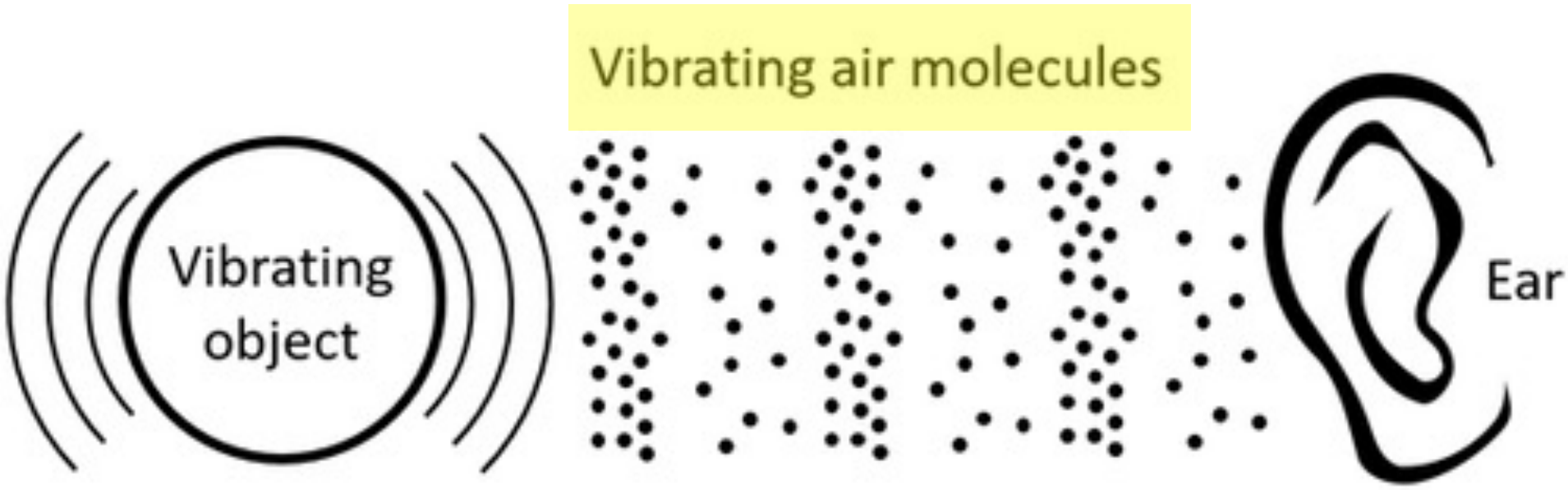

Vibrating air molecules
Vibrating object
Ear

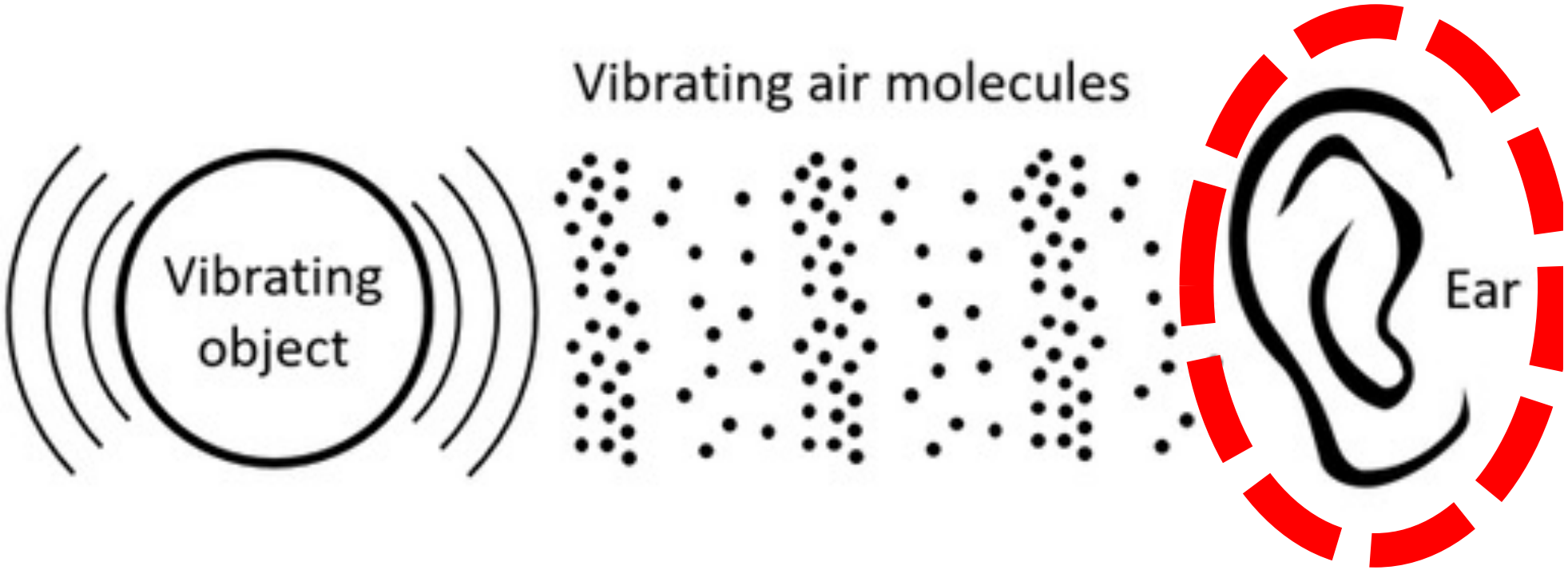


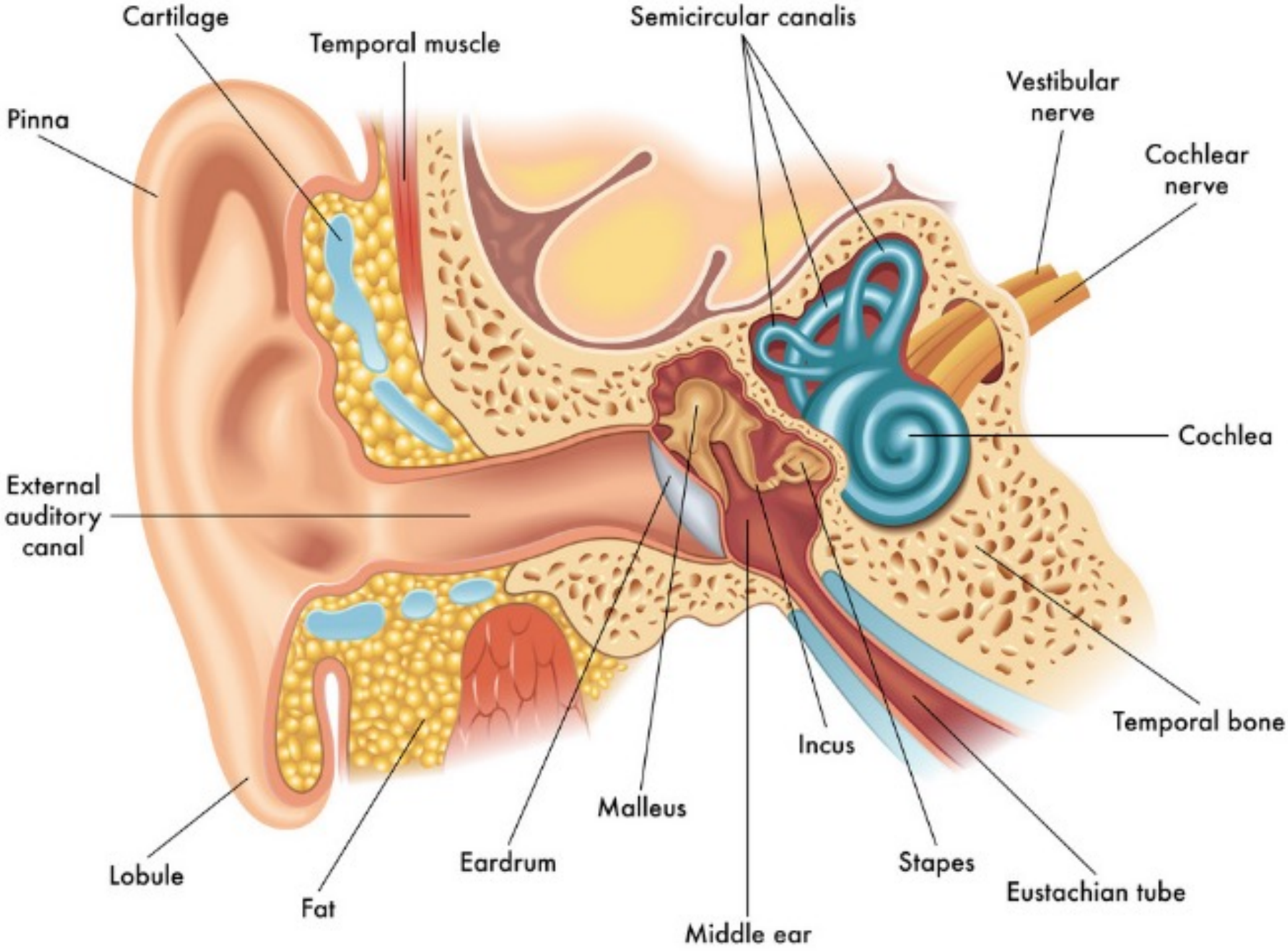


Immagine di Tommy Japan 79 su Flickr . (South Vietnam, 1968)




Poster di “Alien” (1979), diretto da Ridley Scott.


Vibrating air molecules
Vibrating object
Ear


Cartilage
Temporal muscle
Semicircular canalis
Vestibular nerve
Cochlear nerve
Pinna
Cochlea
External auditory canal
Temporal bone
Incus
Malleus
Eardrum
Stapes
Eustachian tube
Lobule
Fat
Middle ear



Nel giugno 1883, sulla rivista The Chautauquan, fu posta la domanda: "Se un albero dovesse cadere su un'isola dove non ci fossero esseri umani, ci sarebbe alcun suono?"

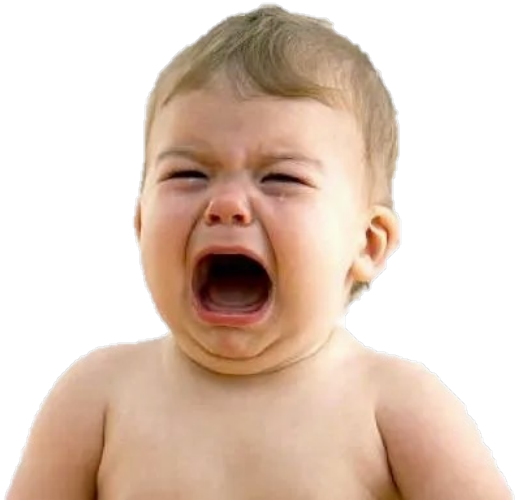
Nel giugno 1883, sulla rivista The Chautauquan, fu posta la domanda: "Se un albero dovesse cadere su un'isola dove non ci fossero esseri umani, ci sarebbe alcun suono?" Hanno poi risposto alla domanda con “No. Il suono è la sensazione eccitata nell'orecchio quando l'aria o un altro mezzo viene messo in movimento.


VIBRAZIONI


VIBRAZIONI
SU UN
ORECCHIO




KAWAI
K. KAWAI




forma d’onda / timbro
ampiezza / volume
frequenza / altezza

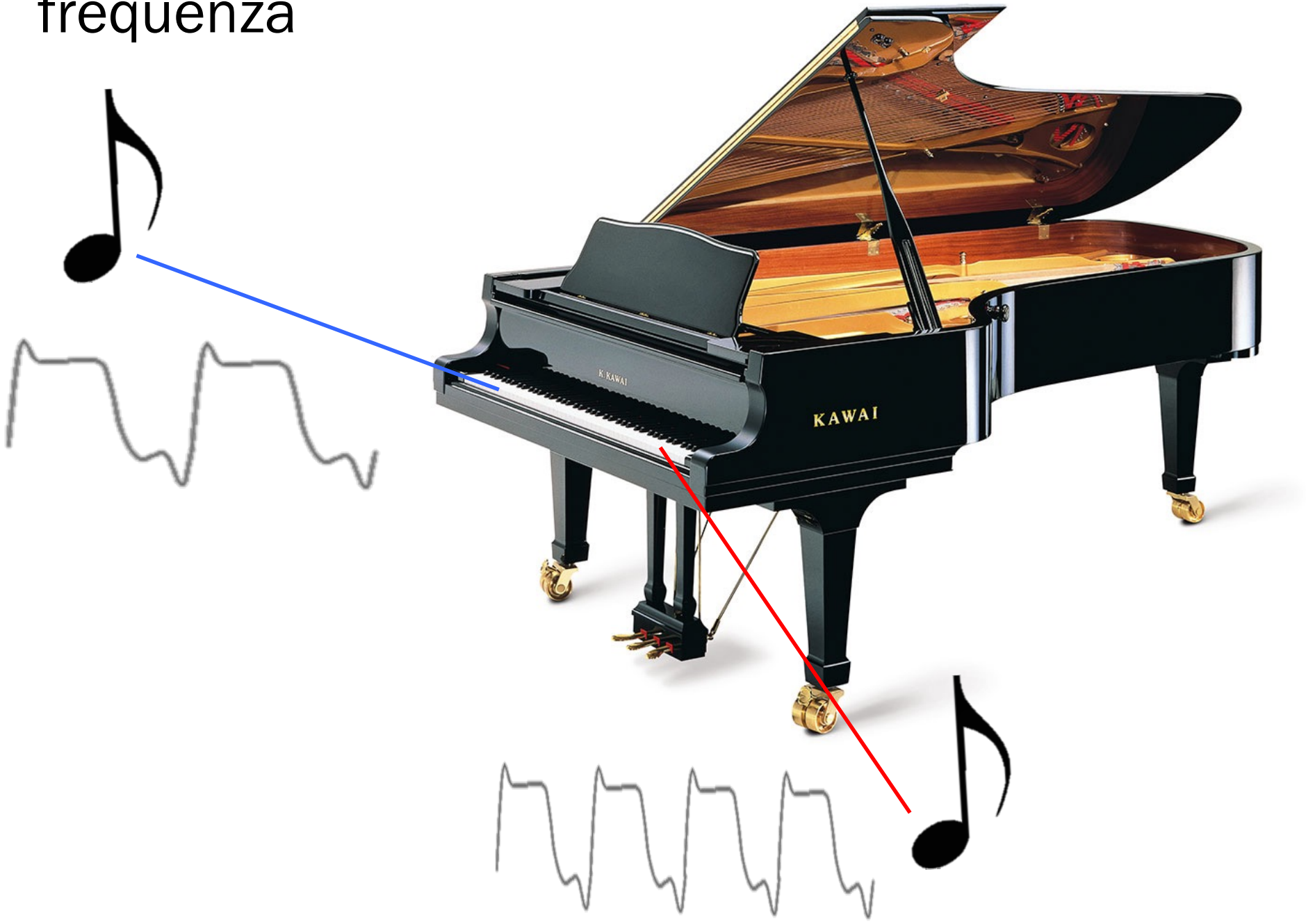
# frequenza / altezza



# altezza



frequenza



ampiezza / volume



volume



# ampiezza

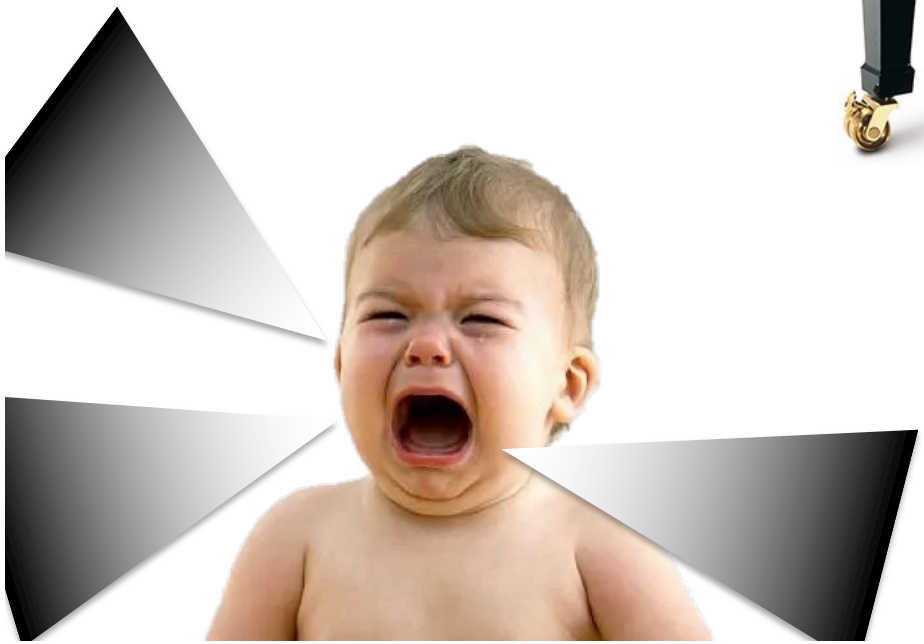


# forma / timbro



# timbro

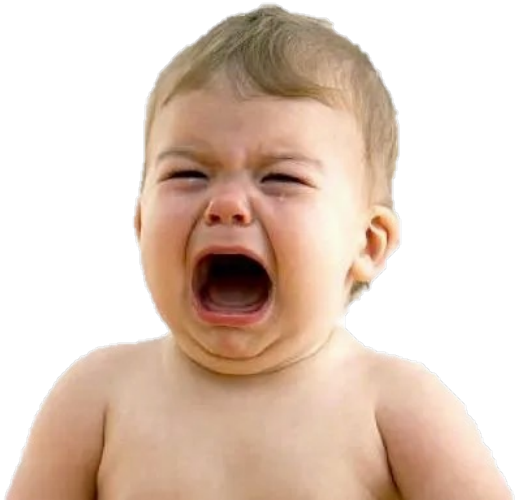


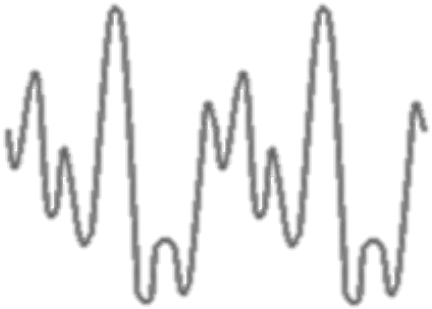



forma

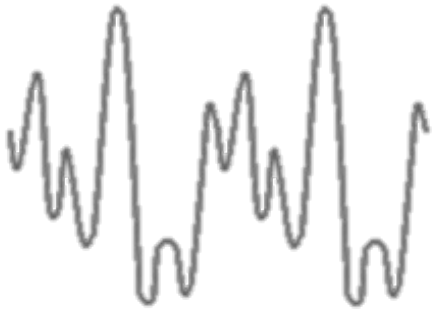


# IN REALTÀ...



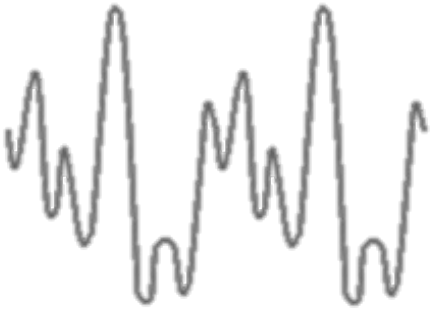


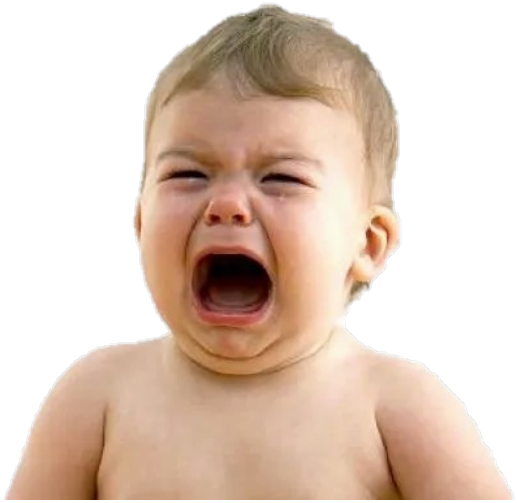
# IN REALTÀ...



# IN REALTÀ...



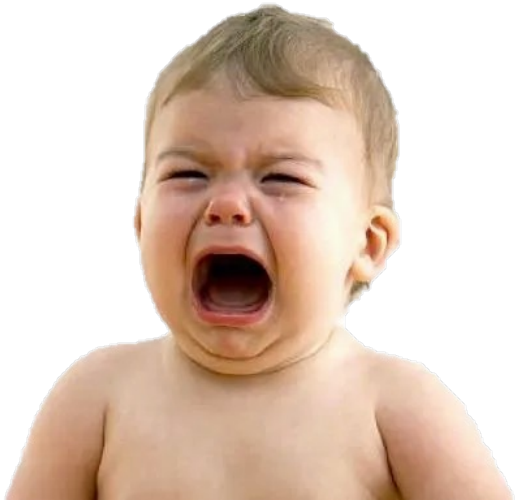


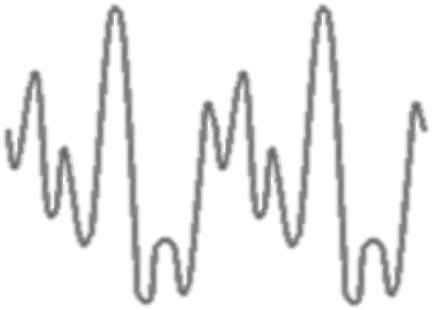


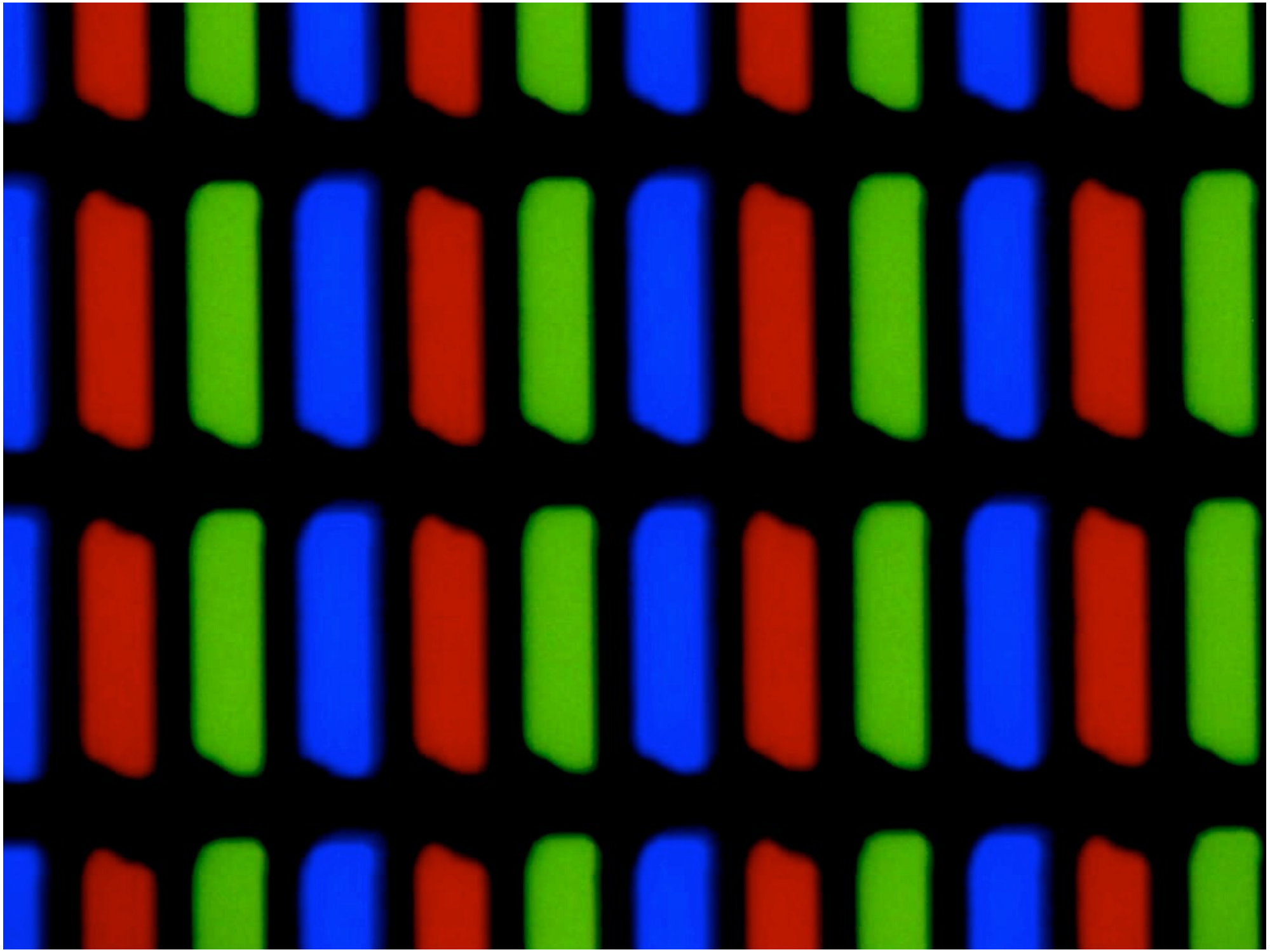


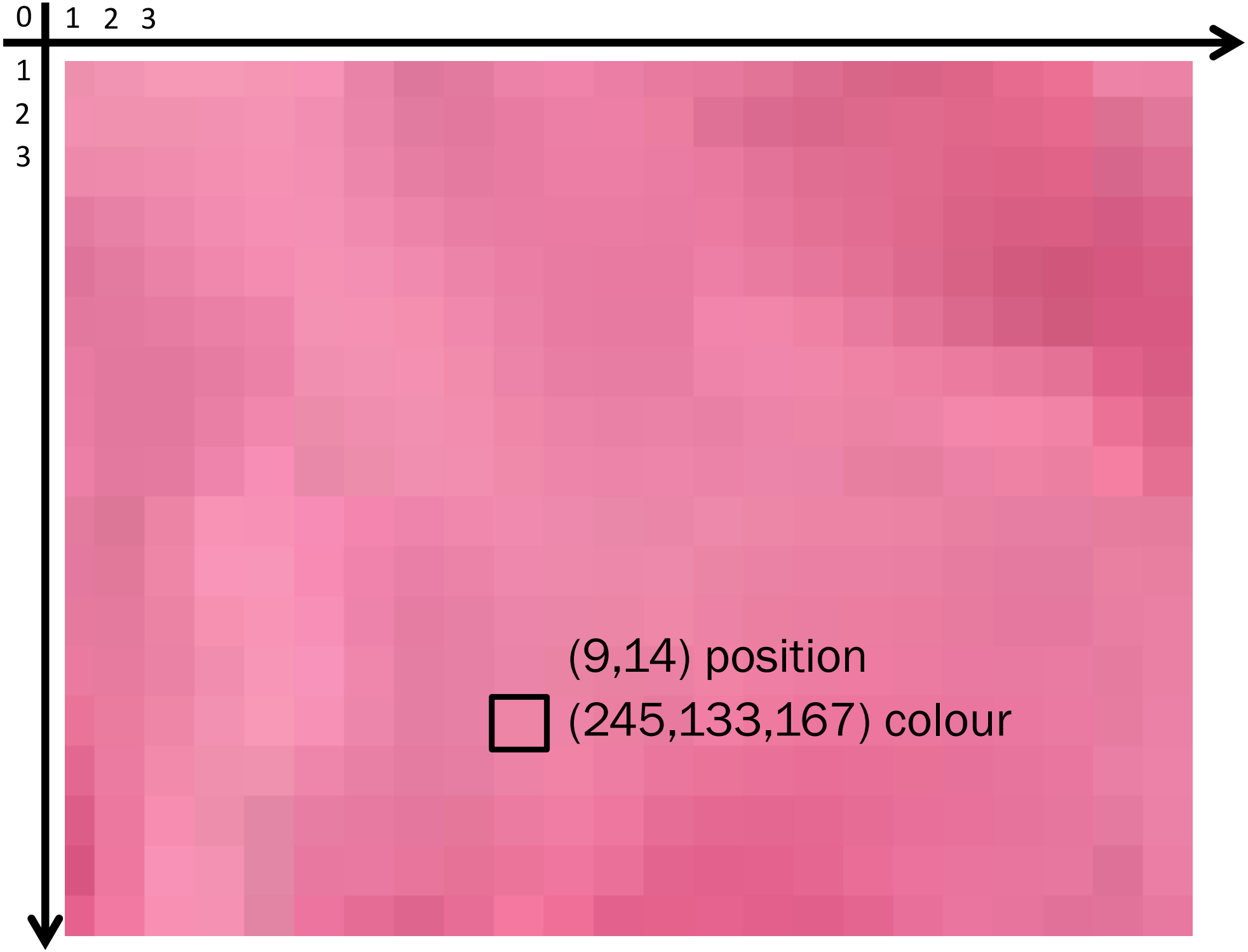


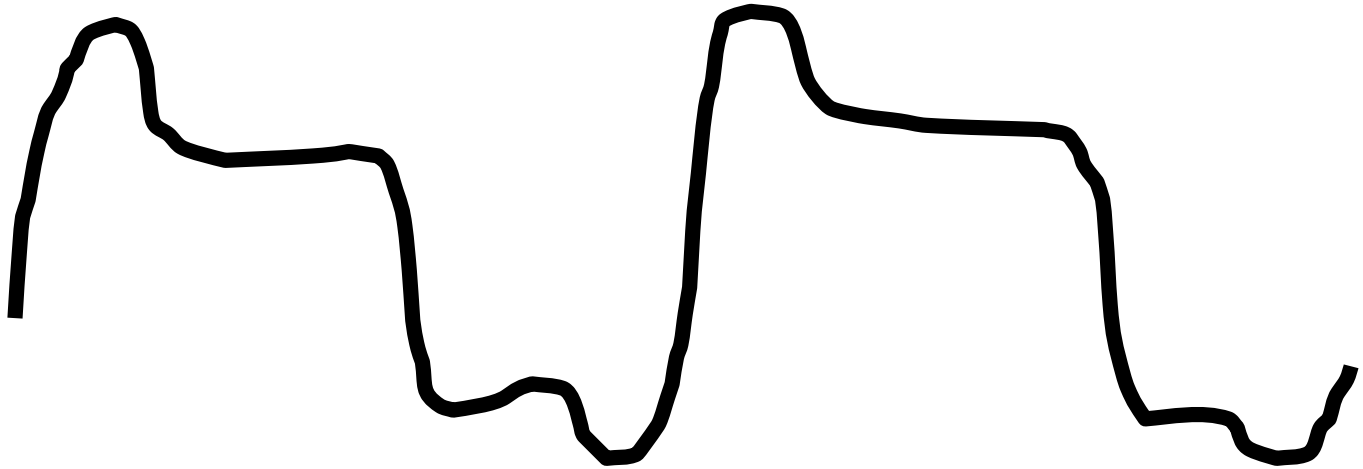


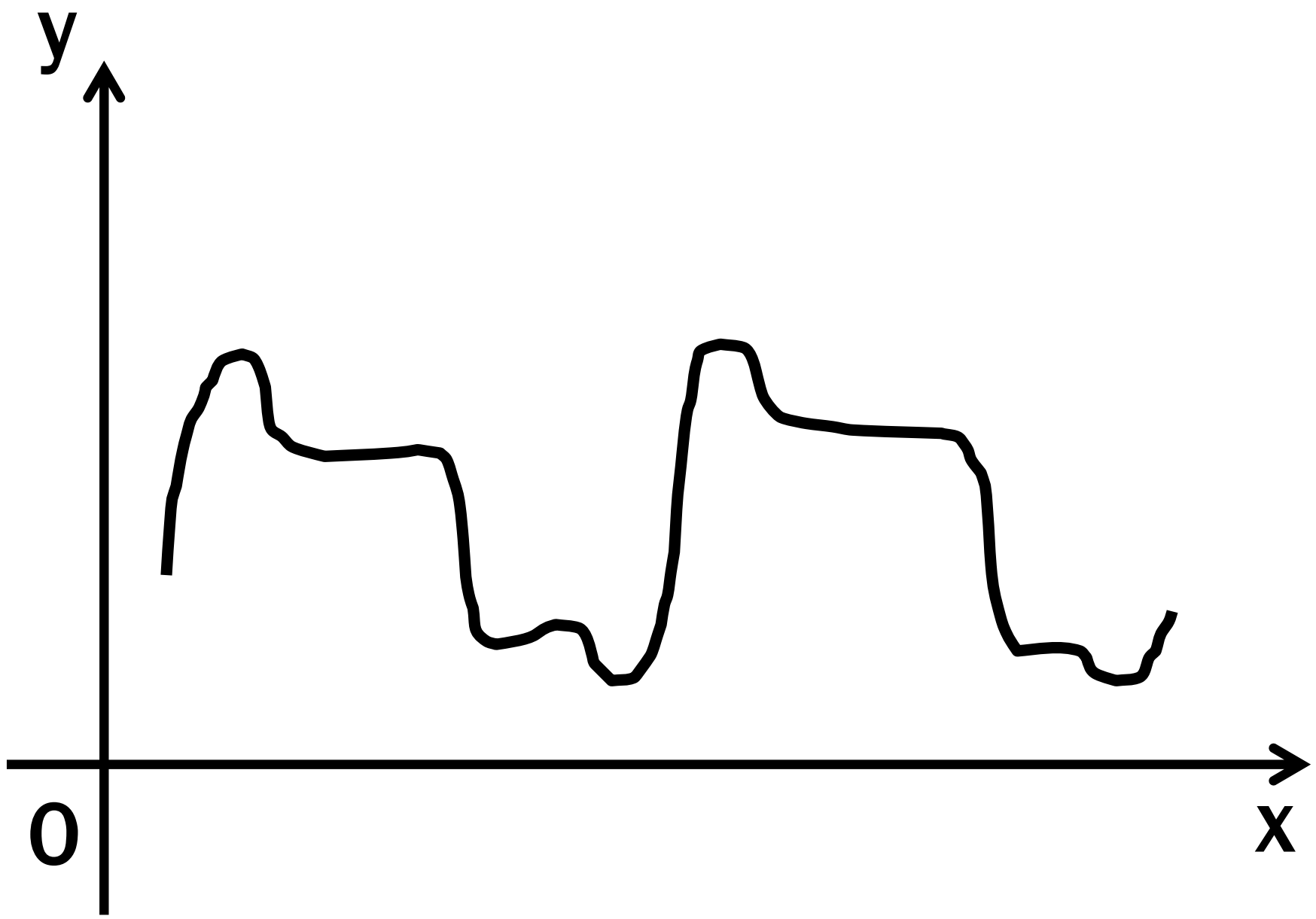


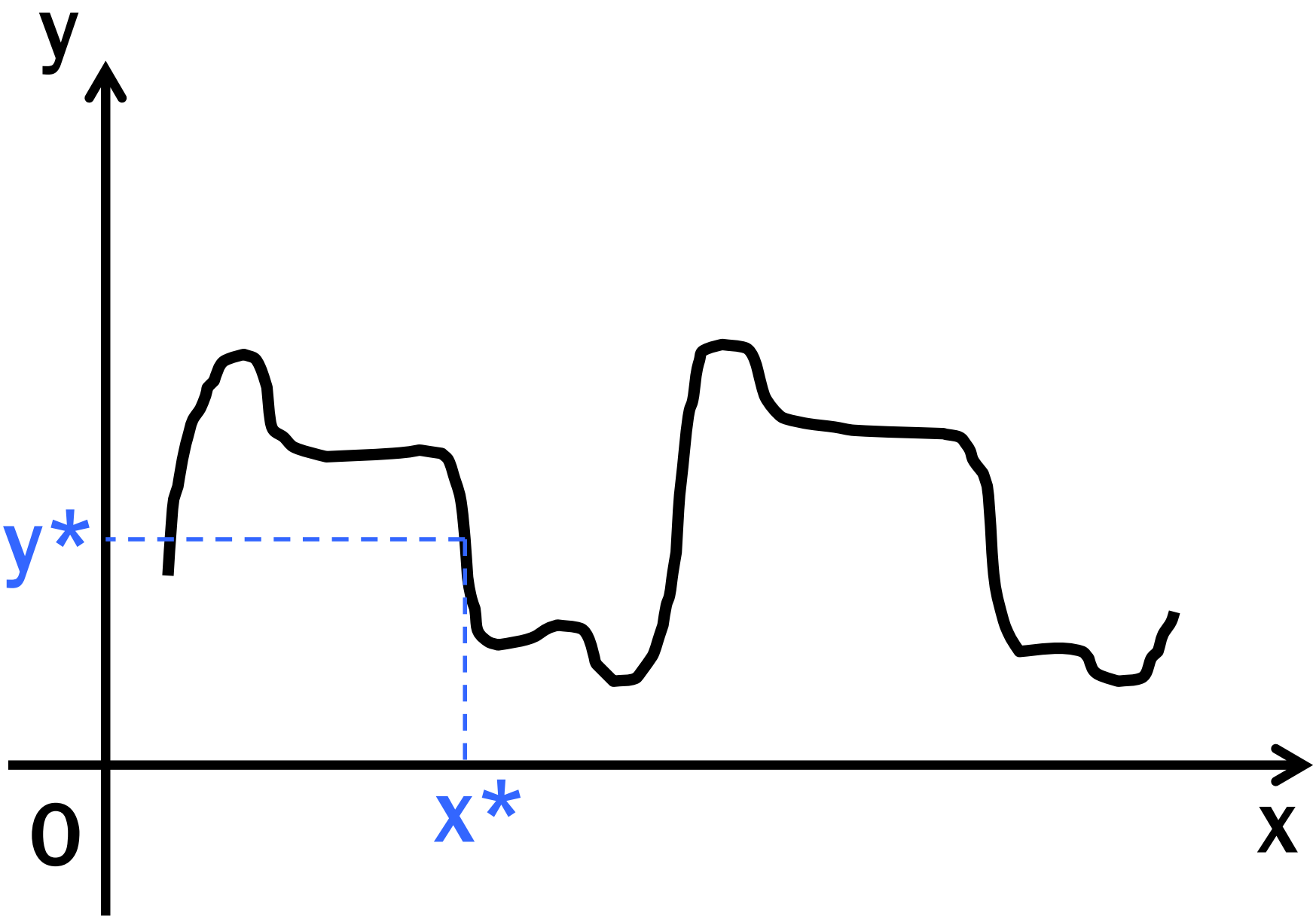


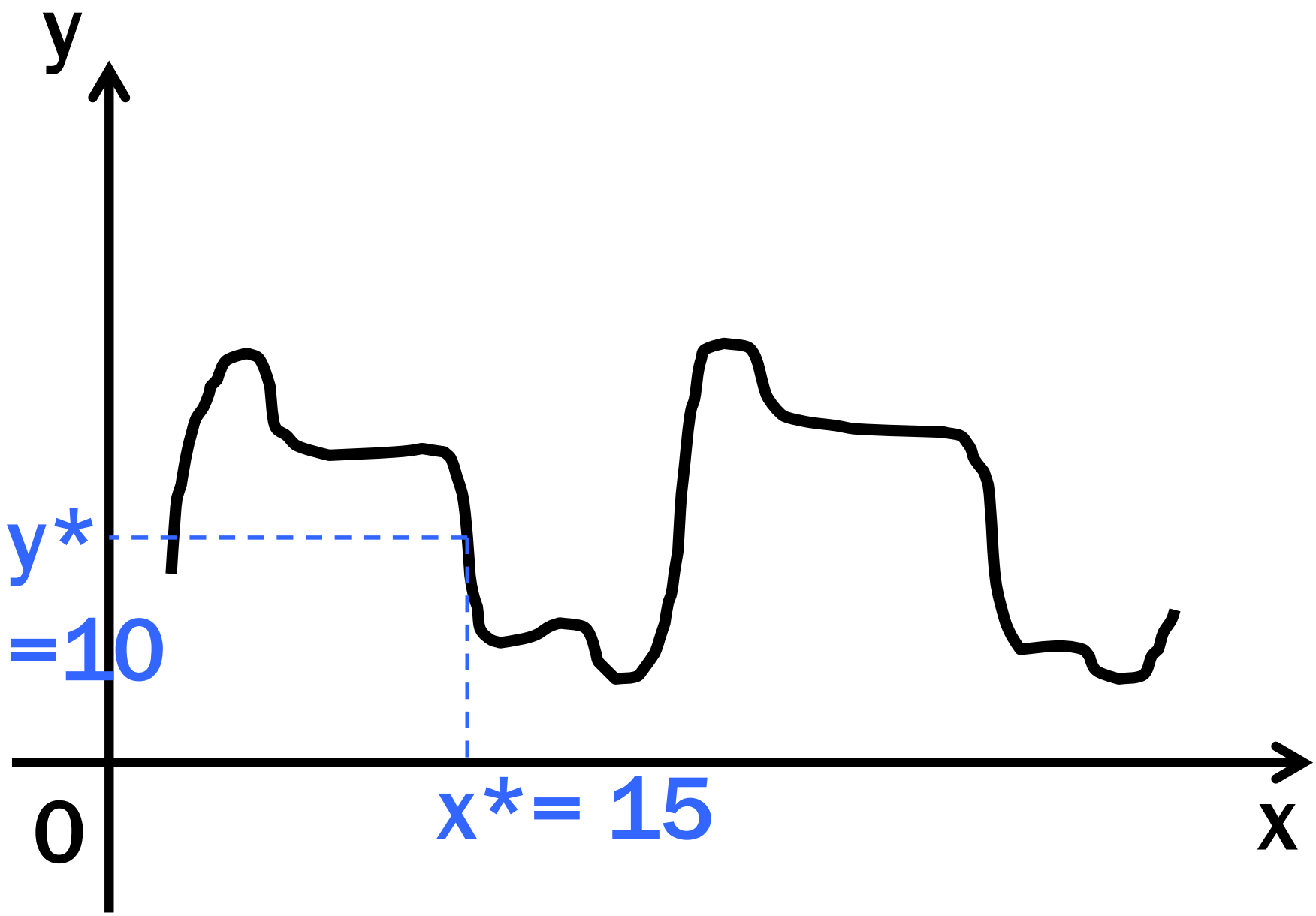


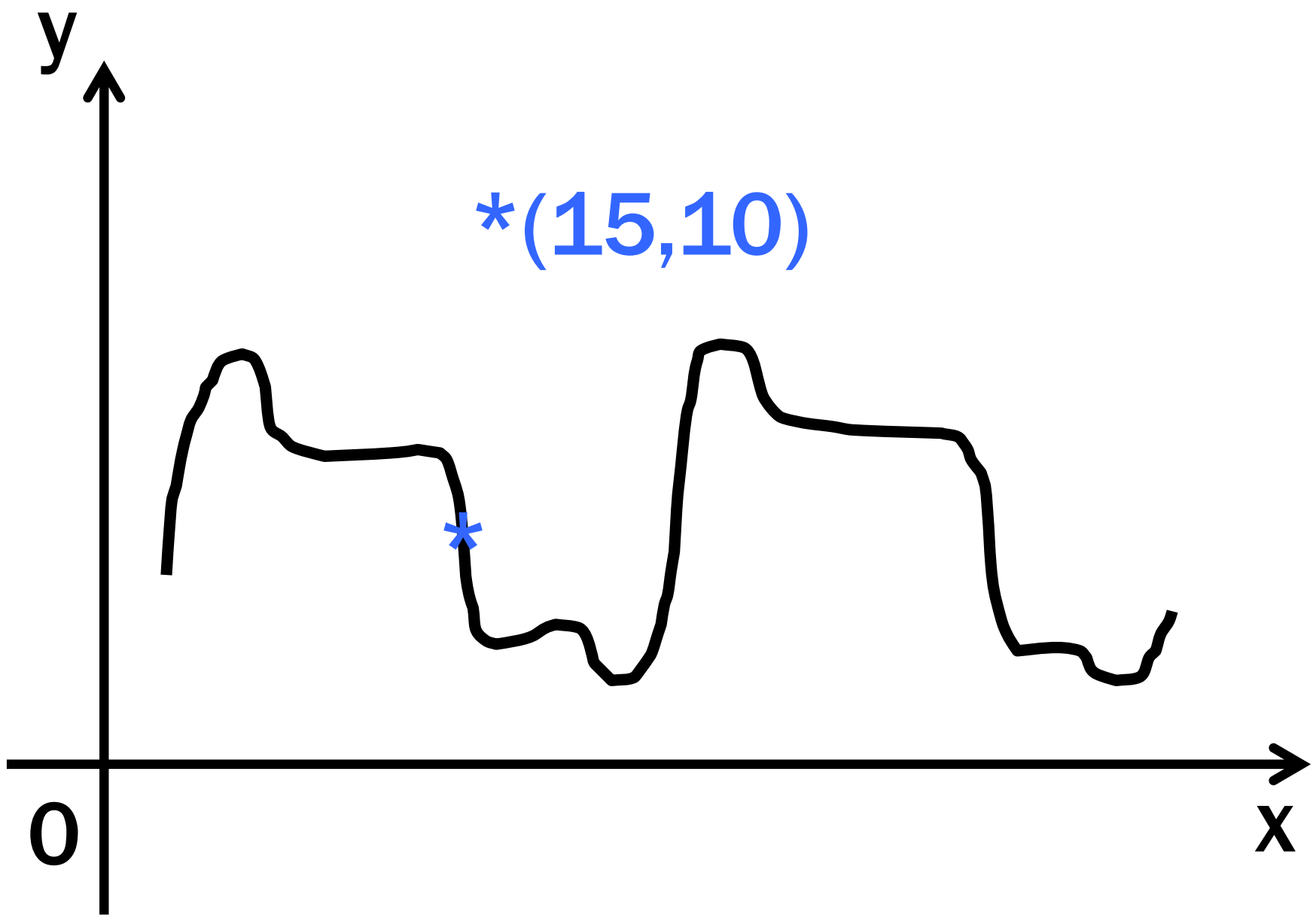

0
1
2
3
1
2
3
(9,14) position
(245,133,167) colour



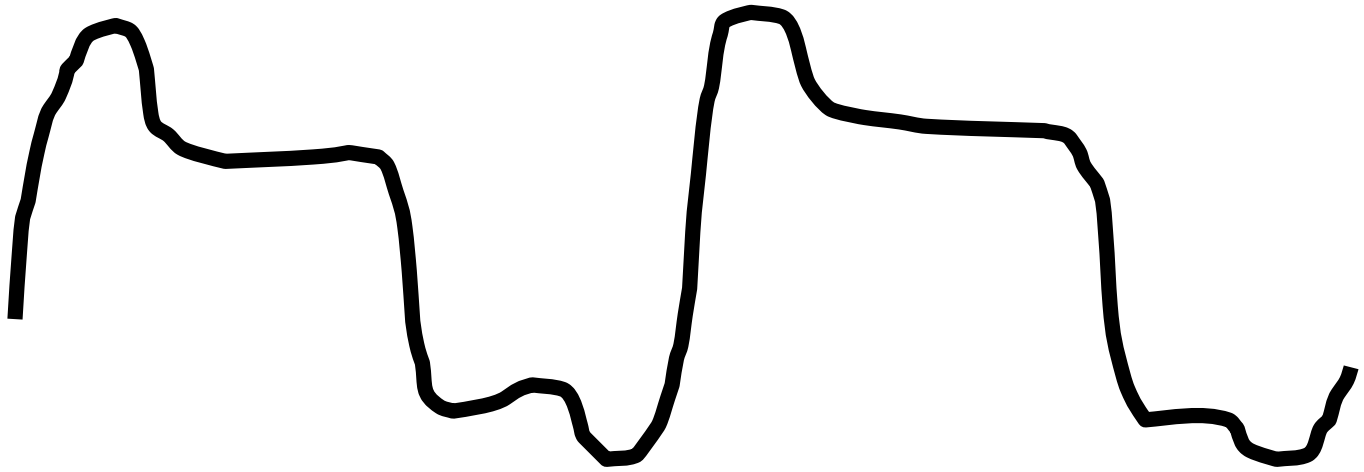

y
0
x


y
y*
0
x*
x

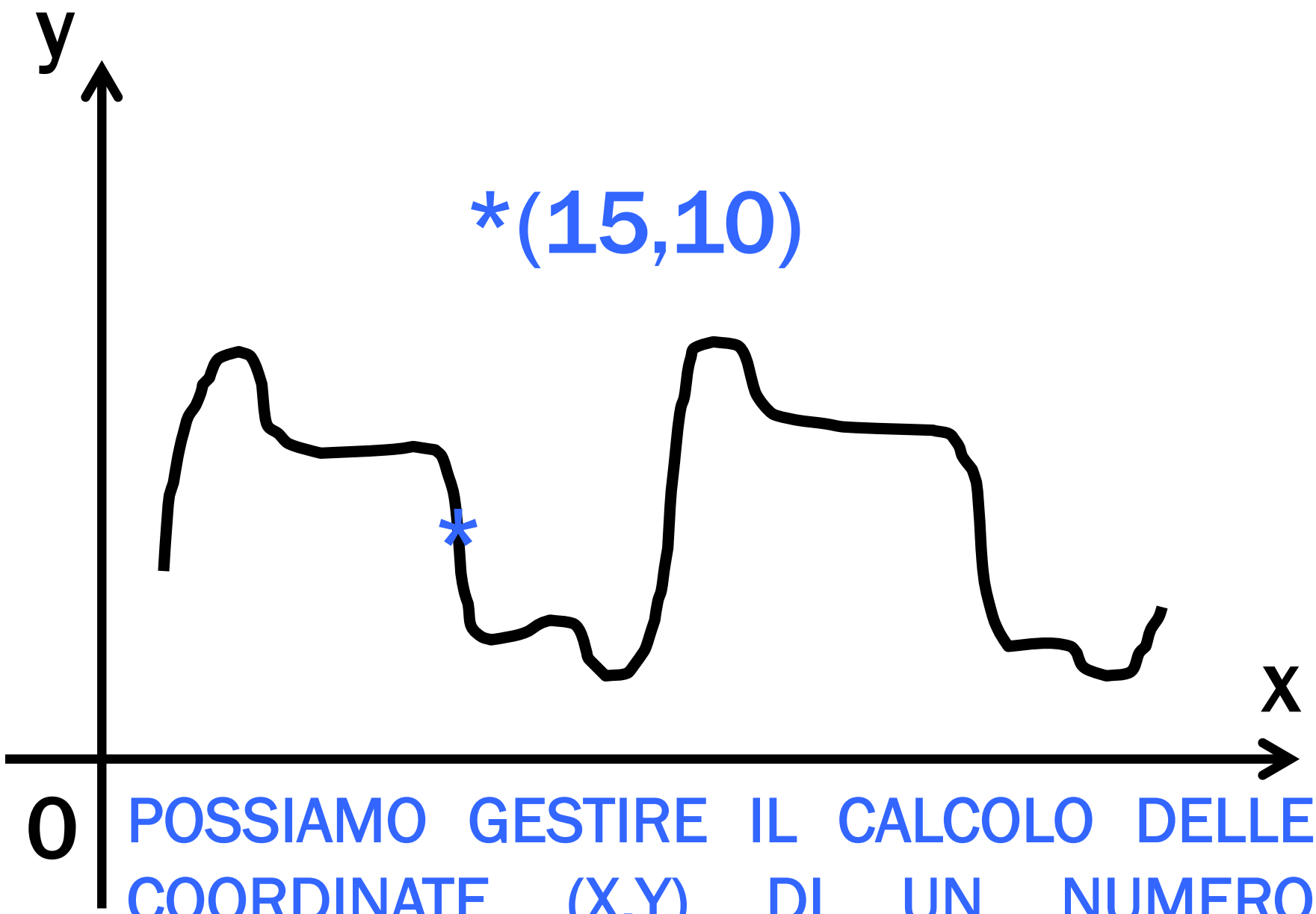

y
y*
=10
0
x*= 15
x


y
*(15,10)
*
0
x

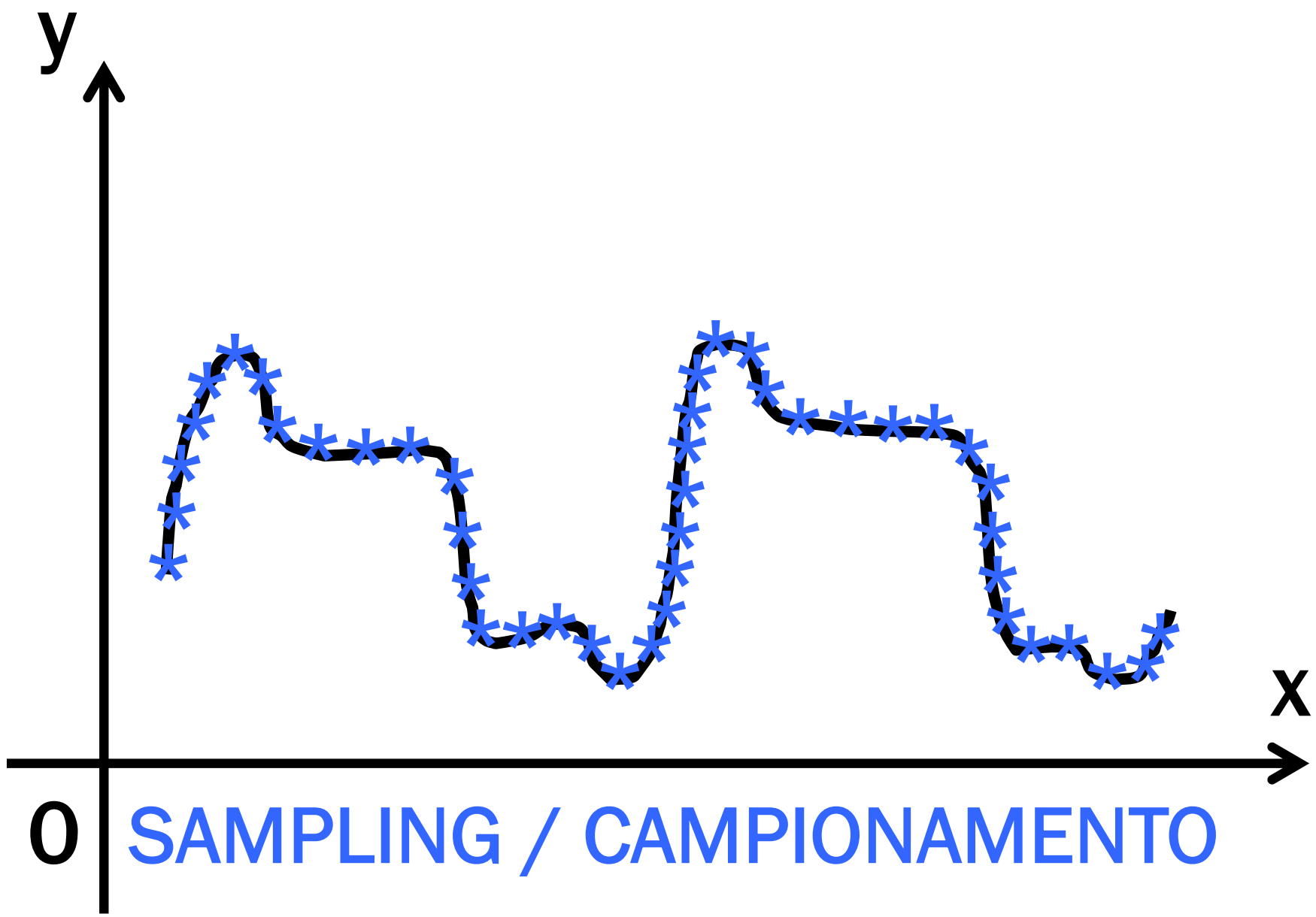

ATTEN
ZIONE



LA GEOMETRIA CI INSEGNA CHE IN UNA LINEA CI SONO INFINITI PUNTI.

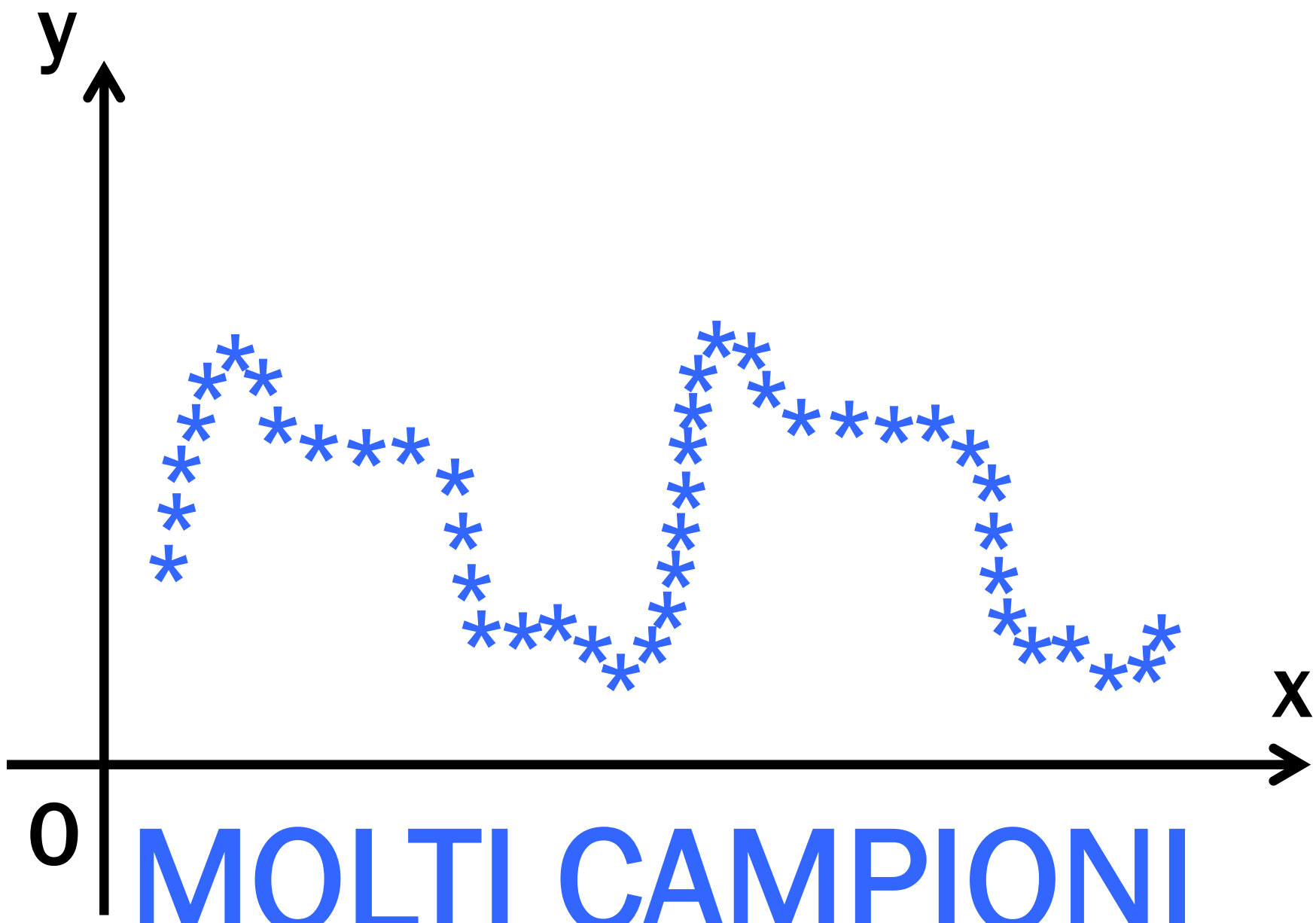



POSSIAMO GESTIRE IL CALCOLO DELLE COORDINATE (X,Y) DI UN NUMERO INFINITO DI PUNTI? OVVIAMENTE NO.


y
x
0
SAMPLING / CAMPIONAMENTO

# SAMPLING / CAMPIONAMENTO

- Scegliamo un punto sull'onda per calcolare le coordinate solo ogni intervallo di tempo
- Ogni punto selezionato è chiamato CAMPIONE
- Il numero di campioni per unità di tempo si chiama SAMPLING RATE o FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO
- Più alta è la frequenza di campionamento, più campioni abbiamo
- Più campioni abbiamo, migliore è la descrizione numerica dell'onda


y
x
0
MOLTI CAMPIONI

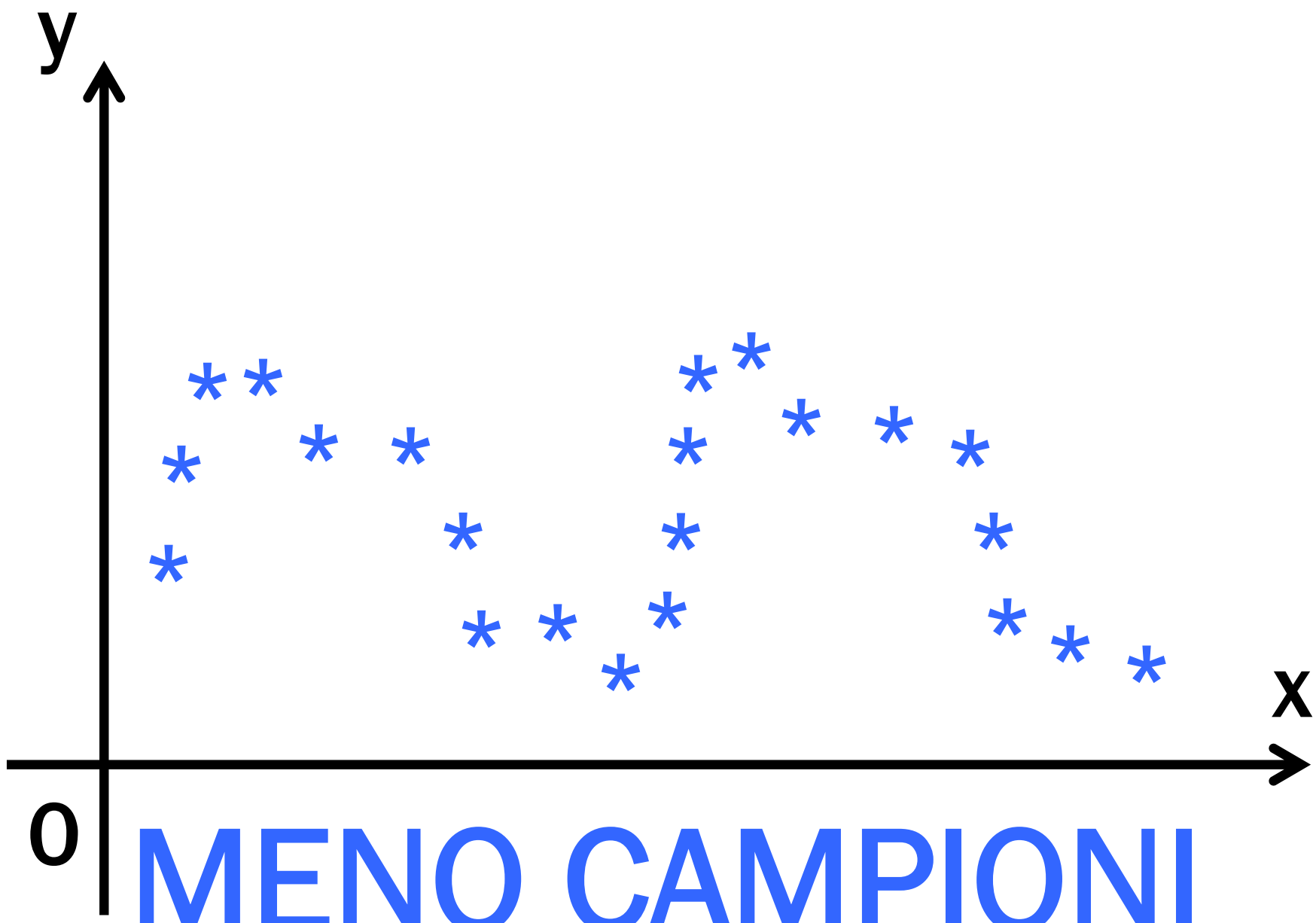
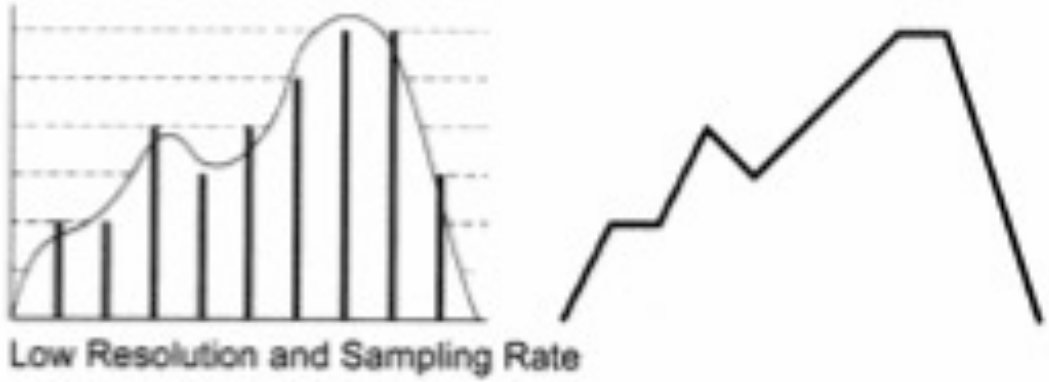
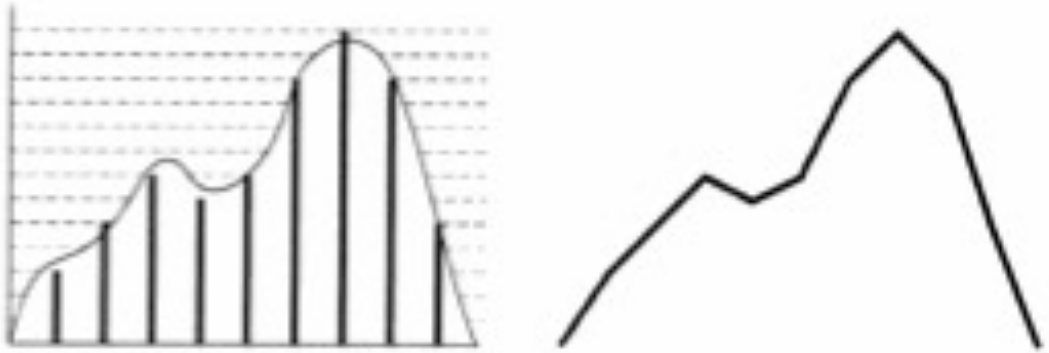

y
x
0
MENO CAMPIONI

**Figure 20 - Effect of Increased Resolution and Sampling Rates**



Low Resolution and Sampling Rate



Increased Resolution



Increased Resolution and Sampling Rate

# SAMPLING / CAMPIONAMENTO

- Scegliamo un punto sull'onda per calcolare le coordinate solo ogni intervallo di tempo
- Ogni punto selezionato è chiamato CAMPIONE
- Il numero di campioni per unità di tempo si chiama SAMPLING RATE o FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO
- Più alta è la frequenza di campionamento, più campioni abbiamo
- Più campioni abbiamo, migliore è la descrizione numerica dell'onda

descrizione

numerica

(1, 23) (2, 30) (3, 28) (4, 30) (5, 29) (6,35) (7, 37) (8, 22) (9,18) (10, 13) (11, 8) (12, 2) (13, 4) (14, 8) (15, 10) (16, 18) (17, 20)...

# Immagini digitali: monitor



# Suoni digitali: ?

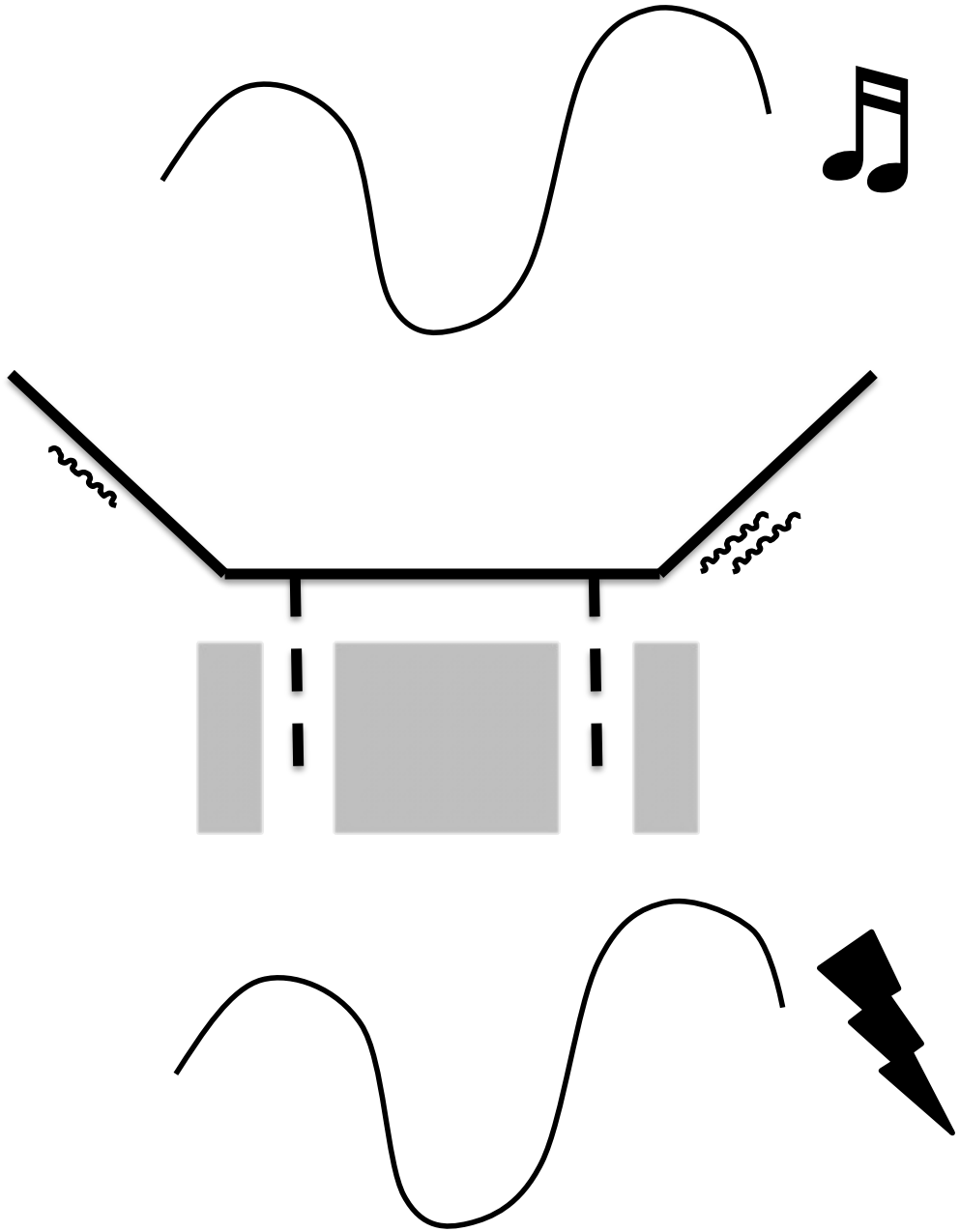
# Suoni digitali: altoparlanti

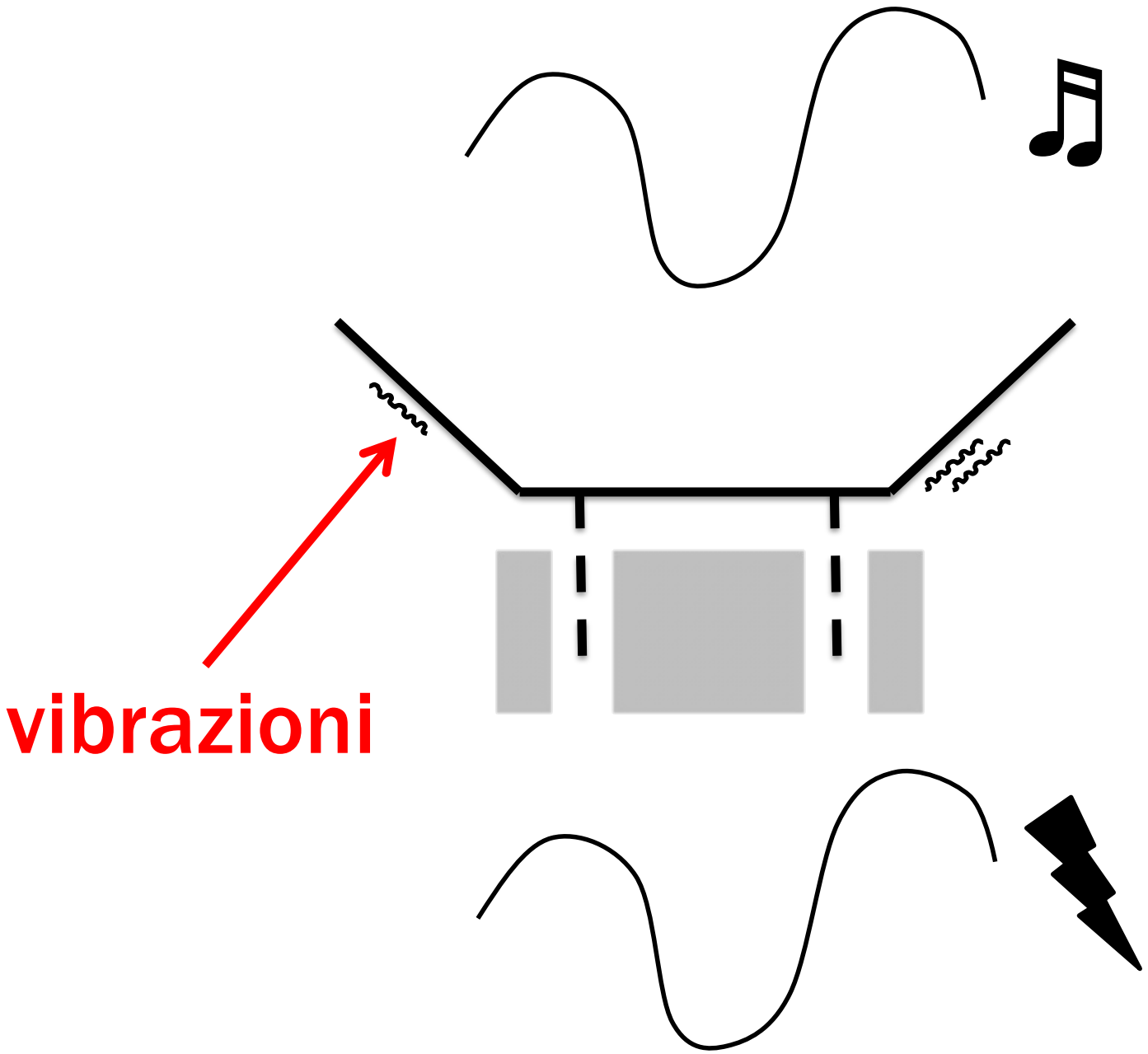


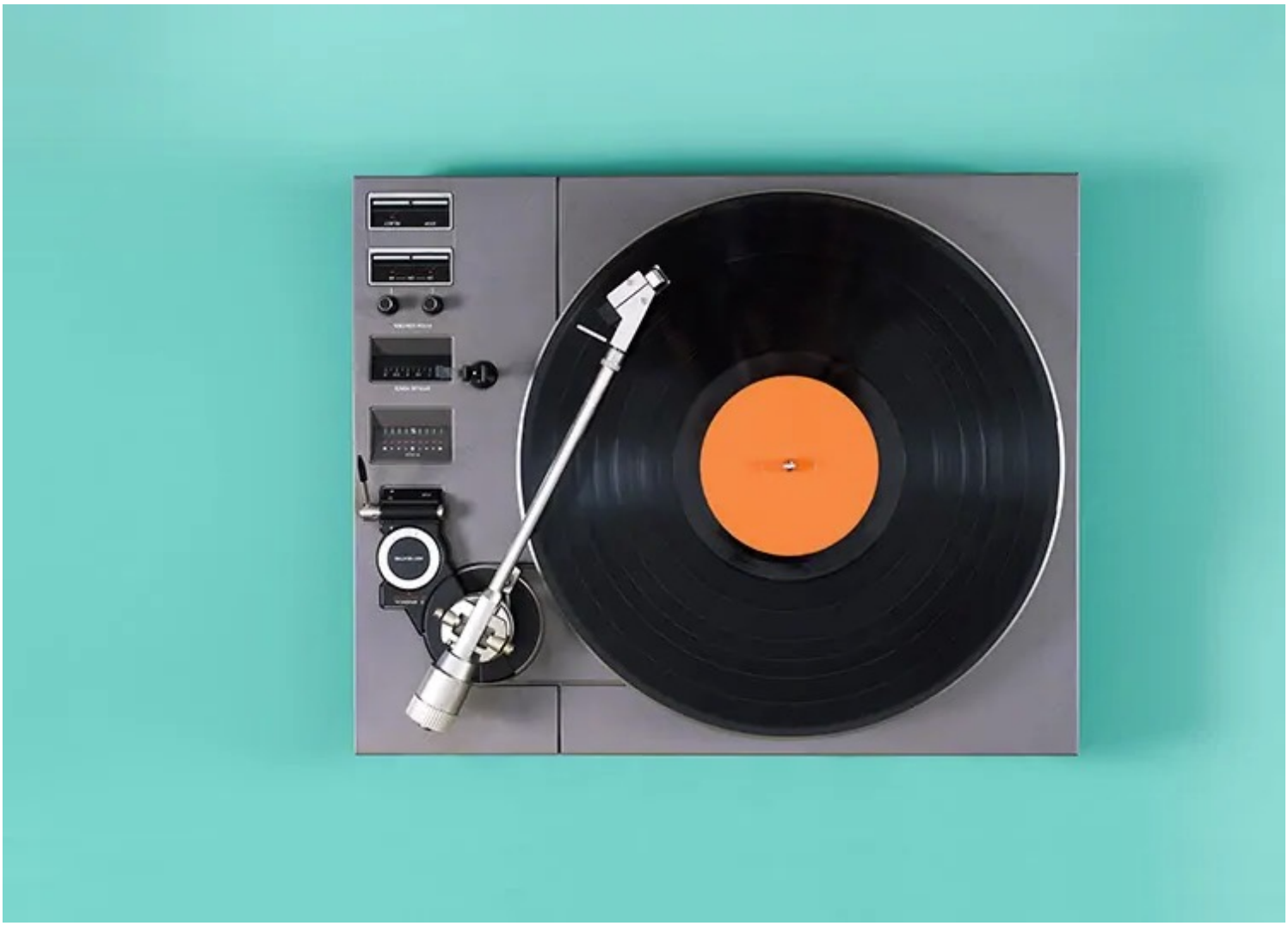
# La necessità di avere hardware

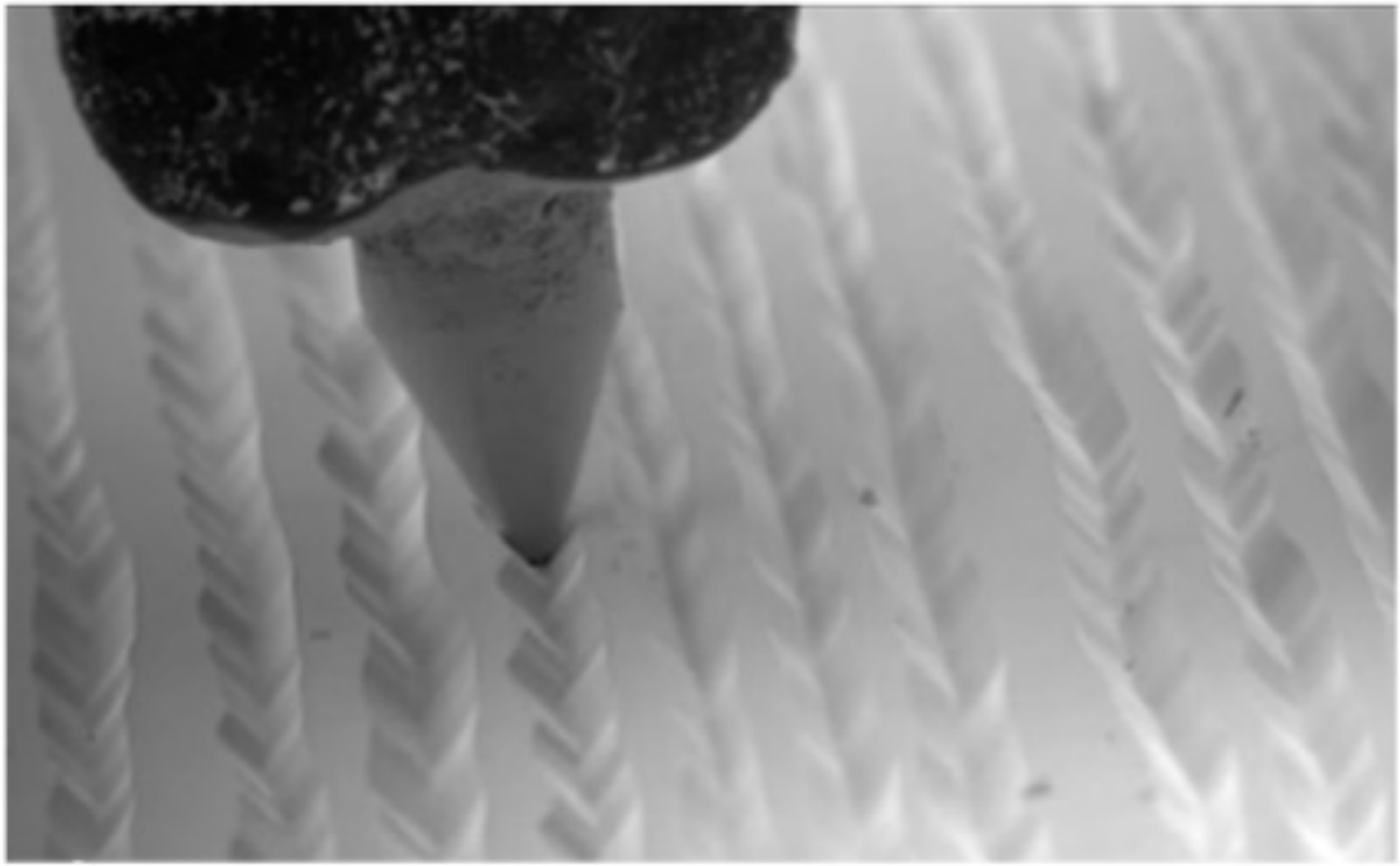
- Come sempre accade, la tecnologia digitale ha bisogno di strumenti fisici che convertano i numeri in fenomeni fisici

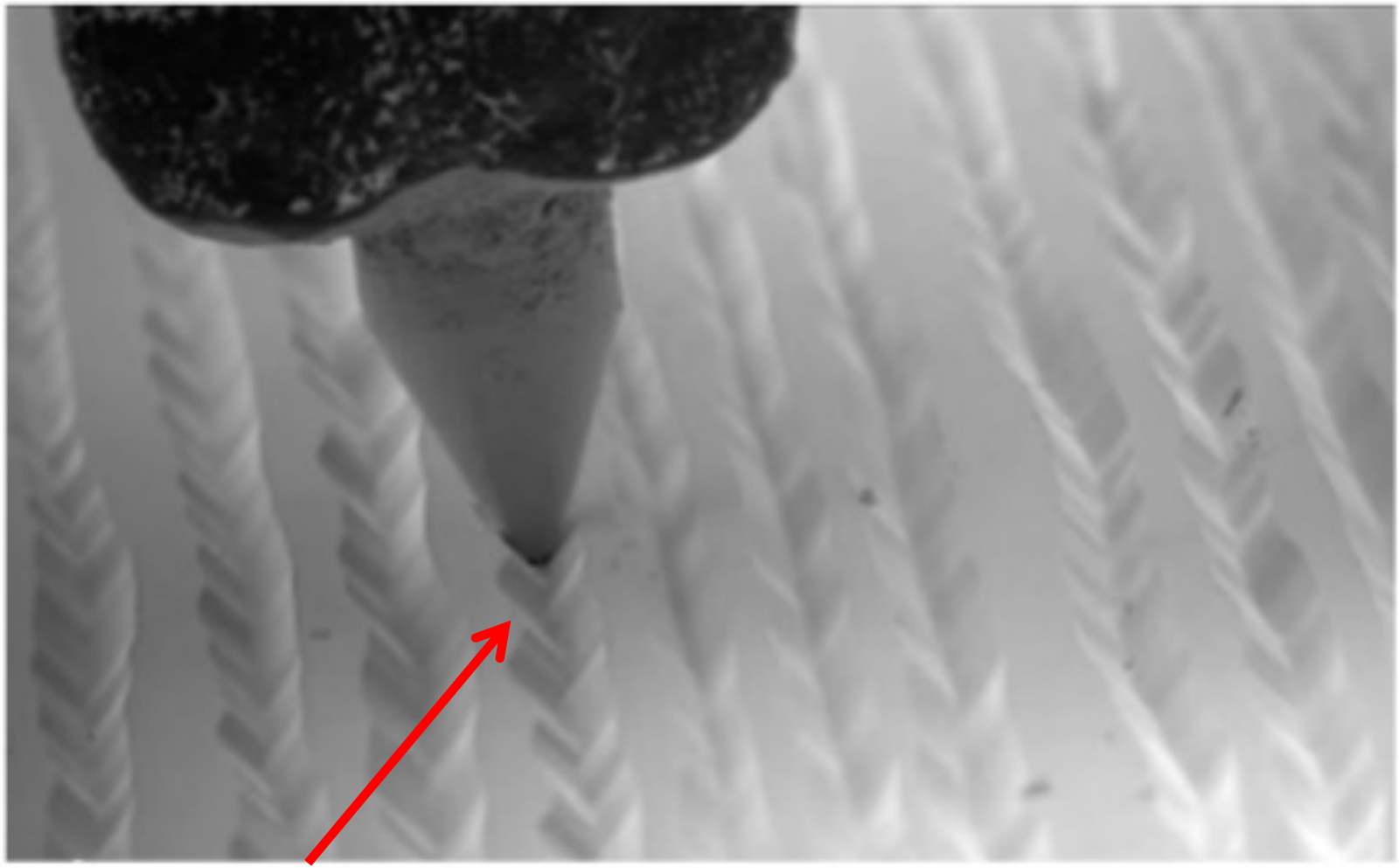




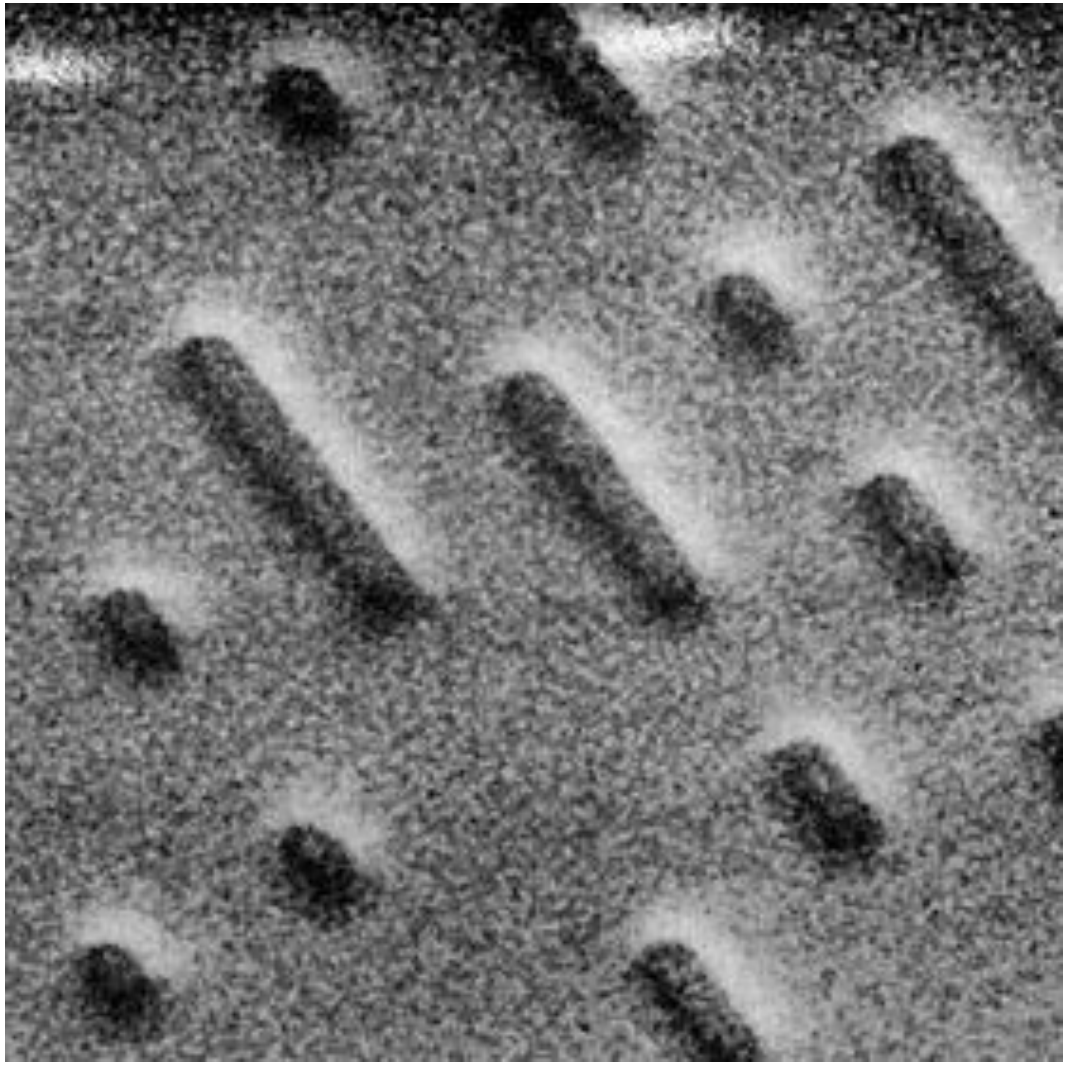

vibrazioni

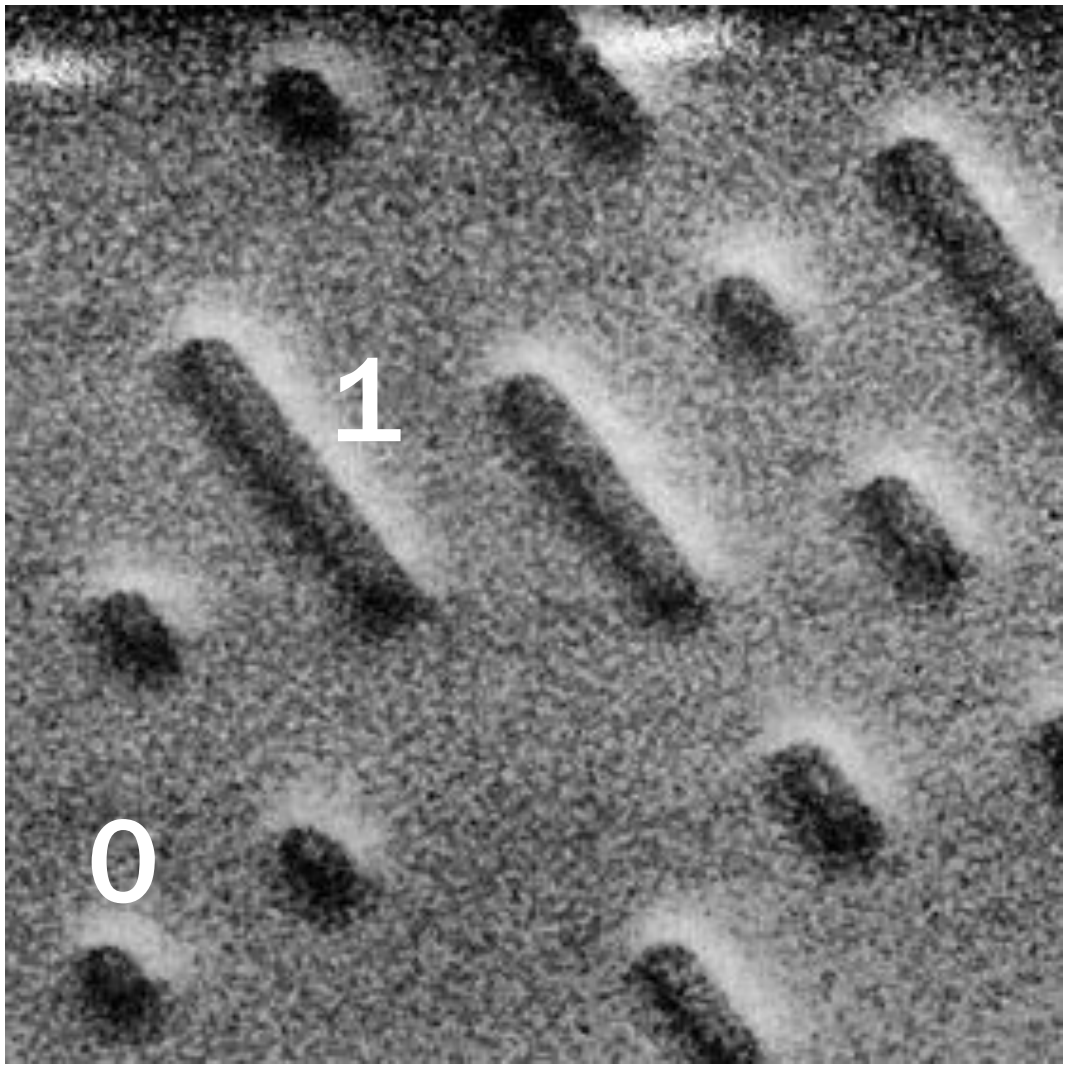








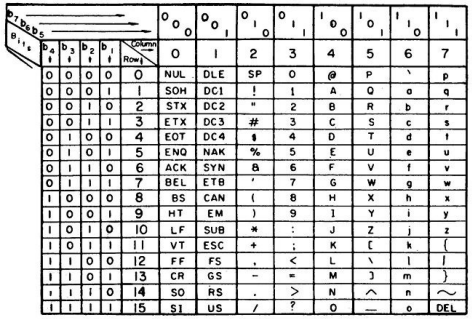



1
0

# Testi digitali

## *USASCII code chart*

| Bits $b_7$ $b_6$ $b_5$ → | | | | | 0 0 0 | 0 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 1 0 0 | 1 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b_4$ | $b_3$ | $b_2$ | $b_1$ | Row ↓ Column → | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NUL | DLE | SP | 0 | @ | P | ` | p |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | EOT | DC4 | $ | 4 | D | T | d | t |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 6 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | BS | CAN | ( | 8 | H | X | h | x |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 9 | HT | EM | ) | 9 | I | Y | i | y |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 10 | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 11 | VT | ESC | + | ; | K | [ | k | { |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 12 | FF | FS | , | < | L | \ | l | \| |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 13 | CR | GS | - | = | M | ] | m | } |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 14 | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 15 | SI | US | / | ? | O | _ | o | DEL |



USASCII code chart

| Bits b7 b6 b5 | 0 0 0 | 0 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 1 0 0 | 1 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| b4 b3 b2 b1 / Row | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 0 0 0 0 | NUL | DLE | SP | 0 | @ | P | ` | p |
| 0 0 0 1 1 | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q |
| 0 0 1 0 2 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| 0 0 1 1 3 | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s |
| 0 1 0 0 4 | EOT | DC4 | $ | 4 | D | T | d | t |
| 0 1 0 1 5 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| 0 1 1 0 6 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| 0 1 1 1 7 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| 1 0 0 0 8 | BS | CAN | ( | 8 | H | X | h | x |
| 1 0 0 1 9 | HT | EM | ) | 9 | I | Y | i | y |
| 1 0 1 0 10 | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| 1 0 1 1 11 | VT | ESC | + | ; | K | [ | k | { |
| 1 1 0 0 12 | FF | FS | , | < | L | \ | l | \| |
| 1 1 0 1 13 | CR | GS | - | = | M | ] | m | } |
| 1 1 1 0 14 | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ |
| 1 1 1 1 15 | SI | US | / | ? | O | _ | o | DEL |

Tabella del codice US-ASCII (United States, American Standard Code for Information Interchange).
Copia scannerizzata di un documento consegnato con la stampante con tastiera TermiNet 300 della General Electric, Waynesboro, Virginia, febbraio 1972.



# Timeline dell’ASCII

| Anno | Evento |
|---|---|
| 1981 | Introduzione dell'ASCII esteso, anche noto come versione a 8 bit, che aggiunse caratteri aggiuntivi al set di caratteri ASCII originale, da parte di IBM nel 1981 per l'uso nel suo primo PC.<br>L'ASCII esteso fu introdotto per fornire un modo per rappresentare caratteri speciali, simboli e caratteri di lingue straniere che non erano inclusi nel set di caratteri ASCII originale. Tuttavia, l'ASCII esteso non era standardizzato e i diversi fornitori utilizzavano codifiche diverse, il che portava a problemi di compatibilità tra i sistemi. |
| 1985 | Microsoft rilasciò la prima versione di Windows, che introdusse tabelle dei caratteri per supportare set di caratteri estesi oltre all'ASCII. Tuttavia, la prima versione includeva solo un set di caratteri, noto come il set di caratteri Windows ANSI (American National Standards Institute). Nonostante il suo nome, Windows ANSI non era effettivamente basato su alcuno standard ANSI pubblicato. |

| Anno | Evento |
|---|---|
| 1987 | MS-DOS 3.3 fu rilasciato, aggiungendo il supporto per codifiche aggiuntive oltre al set di caratteri originale del PC IBM. Le codifiche aggiunte includevano quelle dell'Europa centrale, dei paesi baltici, della Turchia e della Grecia, tra gli altri. Ciò permise a MS-DOS di visualizzare e elaborare caratteri provenienti da più lingue e regioni rispetto a prima.<br><br>Primo uso documentato del termine “Unicode”, coniato da Joe Becker (informatico americano) come nome della nuova “codifica dei caratteri unica, universale e uniforme”. |
| 1991 | Viene fondato il consozio Unicode con l’obiettivo di creare un sistema di codifica dei caratteri universale in grado di rappresentare tutti i caratteri utilizzati in qualsiasi lingua o sistema di scrittura nel mondo.<br>La prima versione dello standard Unicode, che include un totale di 28.864 caratteri, viene rilasciata nell'ottobre dello stesso anno.<br>Lo standard Unicode è progettato per essere compatibile con gli standard di codifica dei caratteri esistenti (backward compatibility), incluso ASCII e ASCII esteso, oltre a fornire un mezzo per rappresentare caratteri che non sono inclusi in questi standard. |

| Anno | Evento |
|---|---|
| 1994 | L'Internet Engineering Task Force (IETF) standardizza l'uso dell'ASCII nei messaggi di posta elettronica con l'introduzione dello standard MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions). |
| 1996 | Il Consorzio Unicode rilascia la seconda versione dello standard Unicode, che include un totale di 38.887 caratteri.<br>La nuova versione aggiunge il supporto per ulteriori lingue e sistemi di scrittura, inclusi Devanagari, Bengalese ed Etiopico, così come ulteriori simboli ed emoji. |
| 2006 | Il Consorzio Unicode rilascia la quinta versione dello standard Unicode, che include un totale di 99.187 caratteri.<br>La nuova versione aggiunge il supporto per ulteriori lingue e sistemi di scrittura, come il Tifinagh (lingua berbera), il Bamum (popolazione dell'attuale Camerun) e il Glagolitico (la più antica lingua slava, inventata da Cirillo nel IX sec. a Salonicco per traduzioni a carattere liturgico), così come ulteriori simboli ed emoji. |
| 2007 | L'ASCII era la codifica dei caratteri più comune su World Wide Web fino a dicembre 2007, quando la codifica UTF-8 (del consorzio Unicode) l'ha superata. |
| 2022 | La versione più recente dello standard Unicode è la versione 15.0, rilasciata a settembre 2022. Essa include il supporto per nuovi alfabeti e caratteri, oltre a ulteriori emoji. |



Diverse incarnazioni dell'emoji "*smiling face with open mouth and cold sweat* (faccia sorridente con bocca aperta e sudore freddo)".
Da sinistra: sui documenti del consorzio Unicode, nei sistemi operativi Apple, nel sistema Android.
La codifica Unicode di questo carattere è 128517.