

# Visione 3D e Olografia

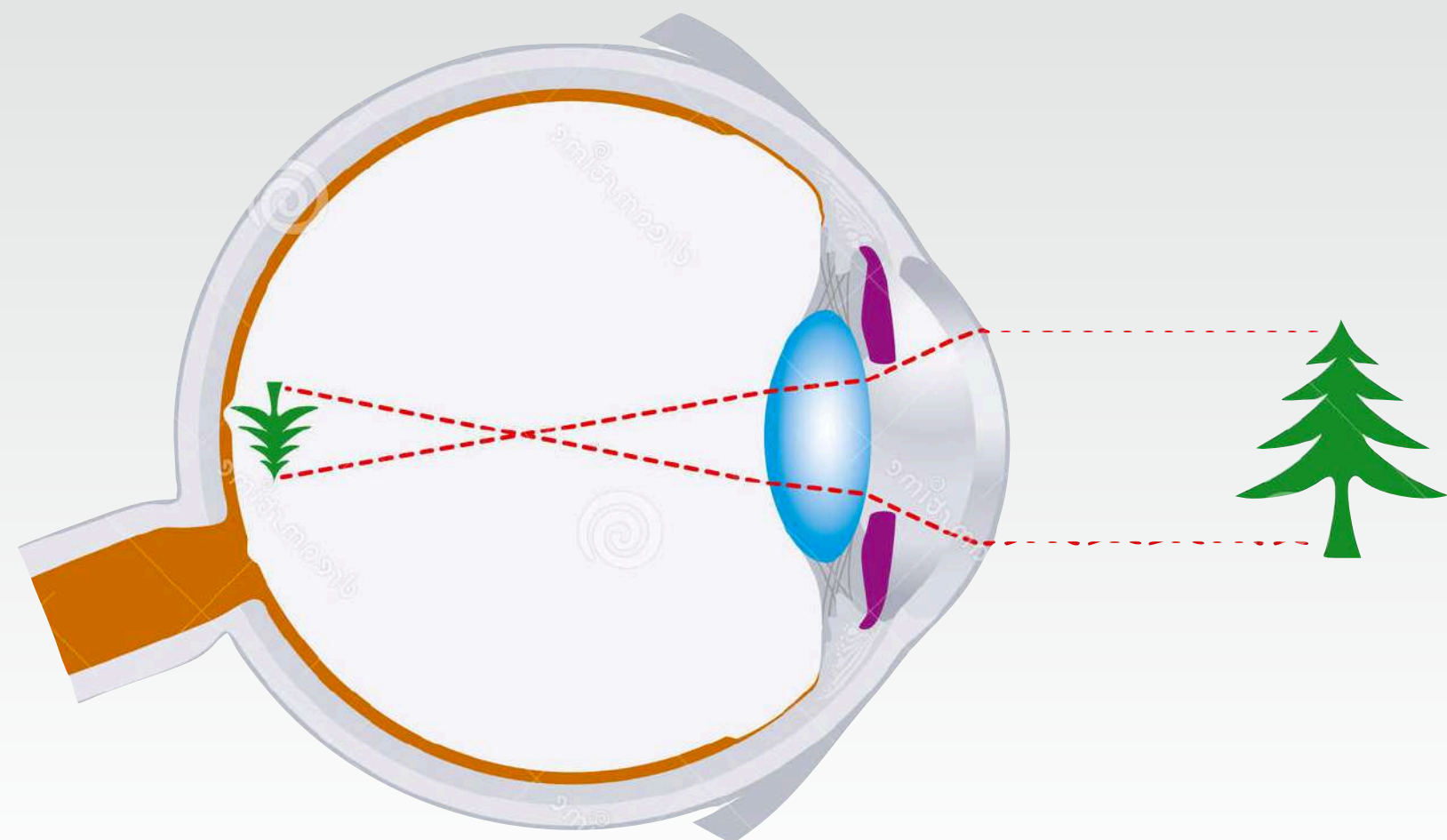
Nicolò Accanto

Photonics Departement  
Valentina Emiliani Lab  
Institut de la Vision, Paris





# Problema: rendere realtà 3D su supporti 2D



**Come fa il cervello a percepire la realtà 3D?**  
**Possiamo migliorare le nostre tecnologie per rendere meglio il 3D?**



# Stimare la distanza su immagine 2D

- Occlusione
- Dimensione relativa
- Prospettiva aerea

Funziona sempre?





# Prospettive bidimensionali forzate

Photo by RM Nunes

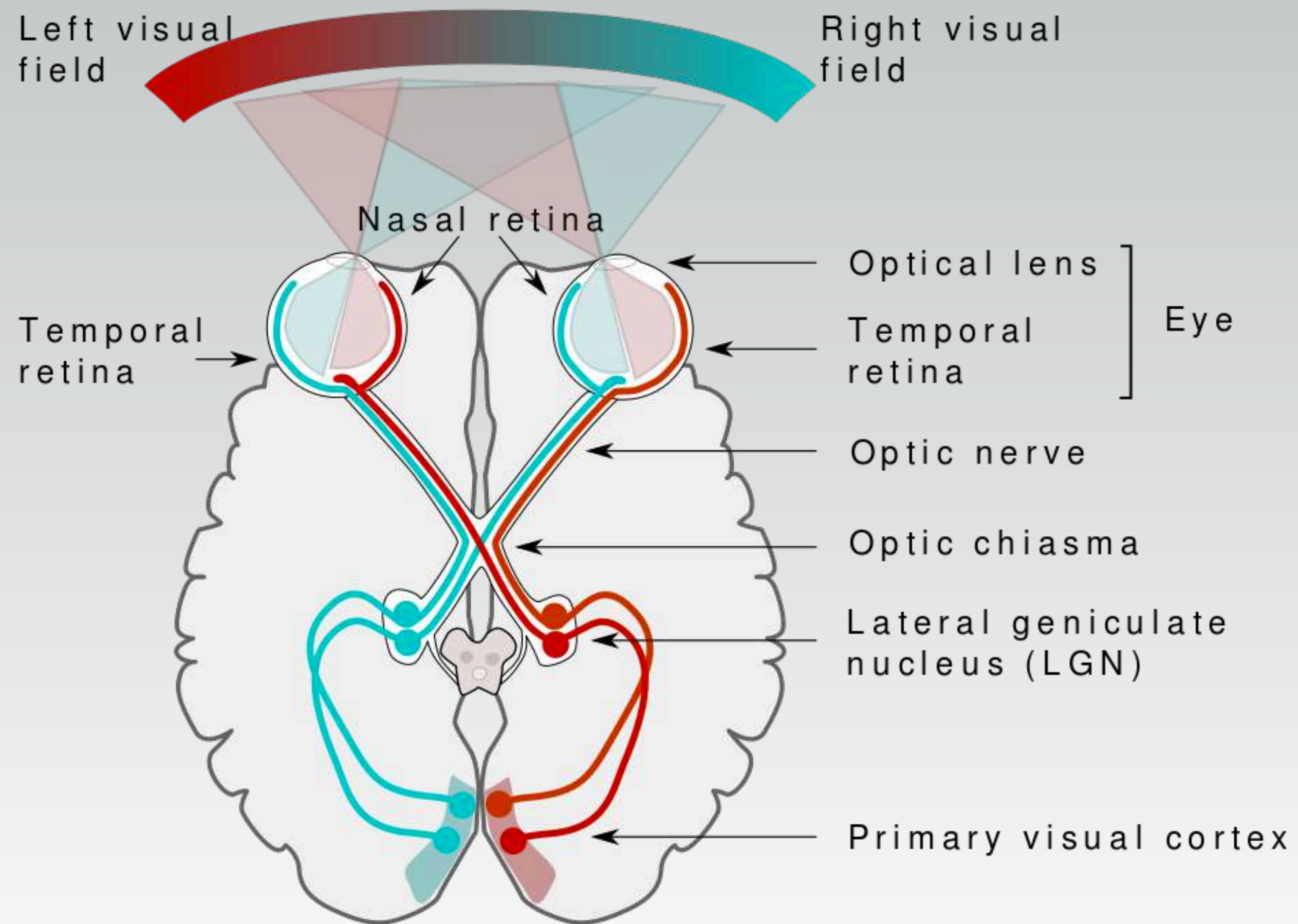


Photo by Vincent Lock

**In certi casi il cervello può confondersi in presenza di informazioni contraddittorie su immagini 2D  
Necessità di trovare un'altra tecnologia che possa dare più informazioni al cervello per percepire 3D**



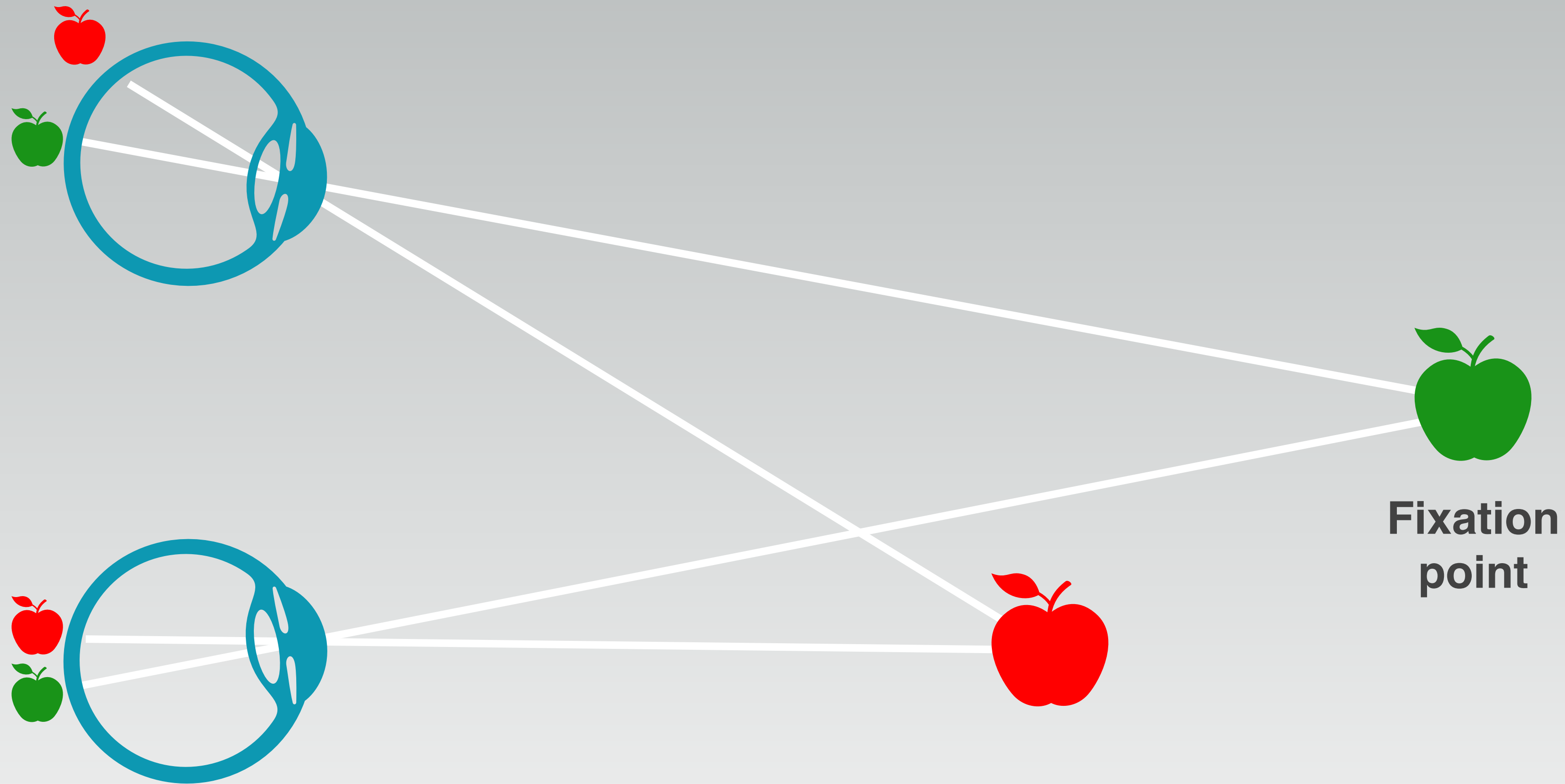
# Visione binoculare: un'importante informazione per il 3D



**I due occhi registrano due immagini leggermente diverse**

**Il cervello interpreta tali differenze per stimare le distanze**

# Visione binoculare e disparità retinica



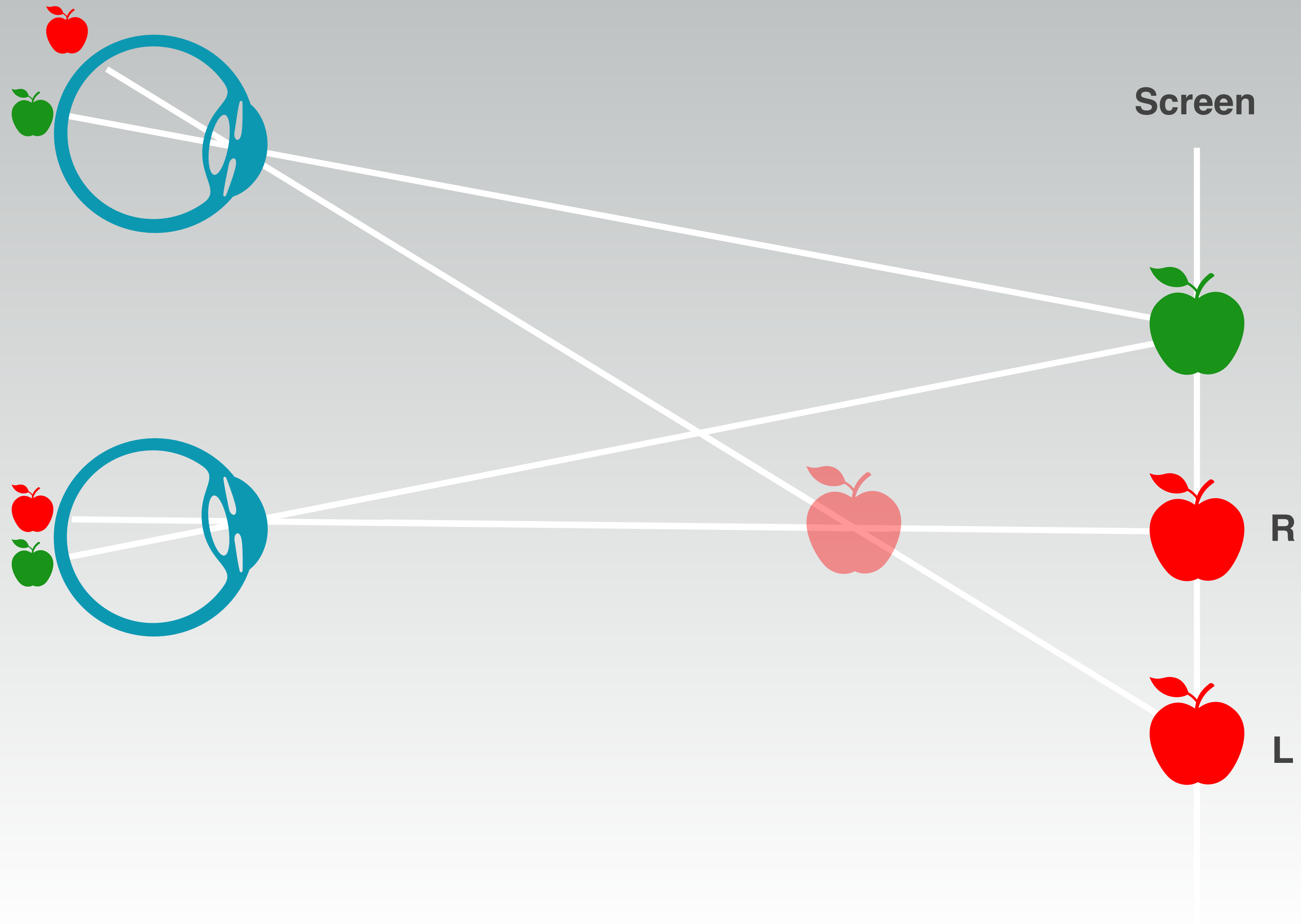
**Il punto di fissazione ha disparità retinica nulla -> stessa immagine sulle due retine.**

**Oggetti più vicini/lontani del punto di fissazione generano disparità retinica.**

**Due immagini con disparità retinica danno al cervello una più corretta informazione della 3D.**

**Idea: possiamo sviluppare una tecnologia che simuli la disparità retinica?**

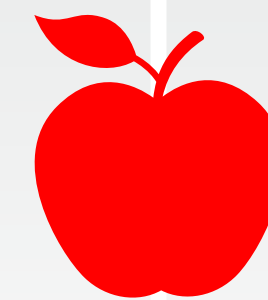
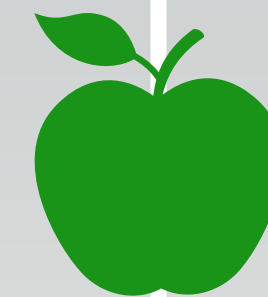
# Simulare la disparità retinica



# Simulare la disparità retinica



Screen



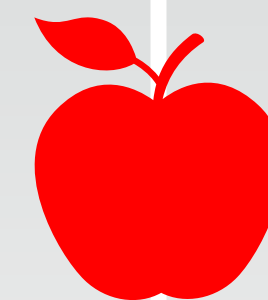
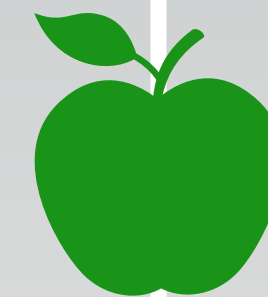
Left eye  
image



# Simulare la disparità retinica



Screen



Right eye  
image

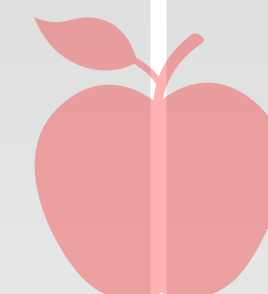
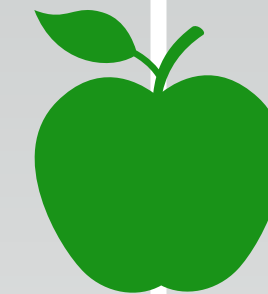


# Simulare la disparità retinica

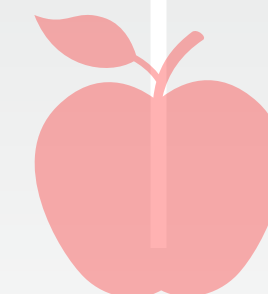


Illusion of  
red apple

Screen



R

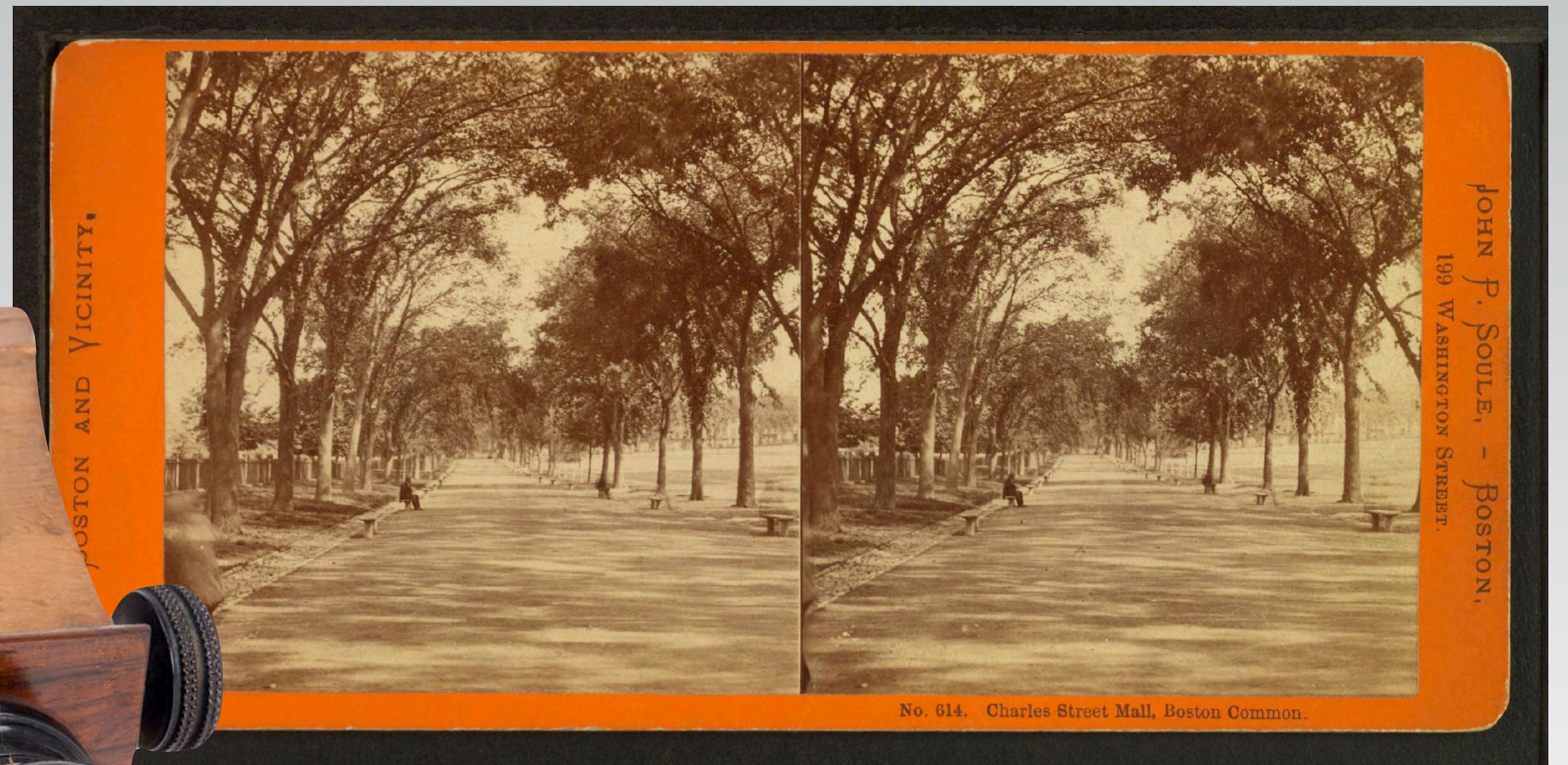


L

Due immagini diverse, viste separatamente dai due occhi possono dare l'illusione della 3D.



# Stereoscopio e cinema 3D: 2 immagini diverse per ciascun occhio





# Visione 3D umana e tecnologie per la rappresentazione 3D

Il cervello interpreta indizi nelle immagini per determinare profondità

La disparità retinica permette al cervello di percepire meglio la realtà 3D

Stereoscopi e cinema 3D simulano la disparità retinica per dare l'illusione 3D



Problema: vedere diverse angolazioni di un oggetto

Soluzione tecnologica: Olografia

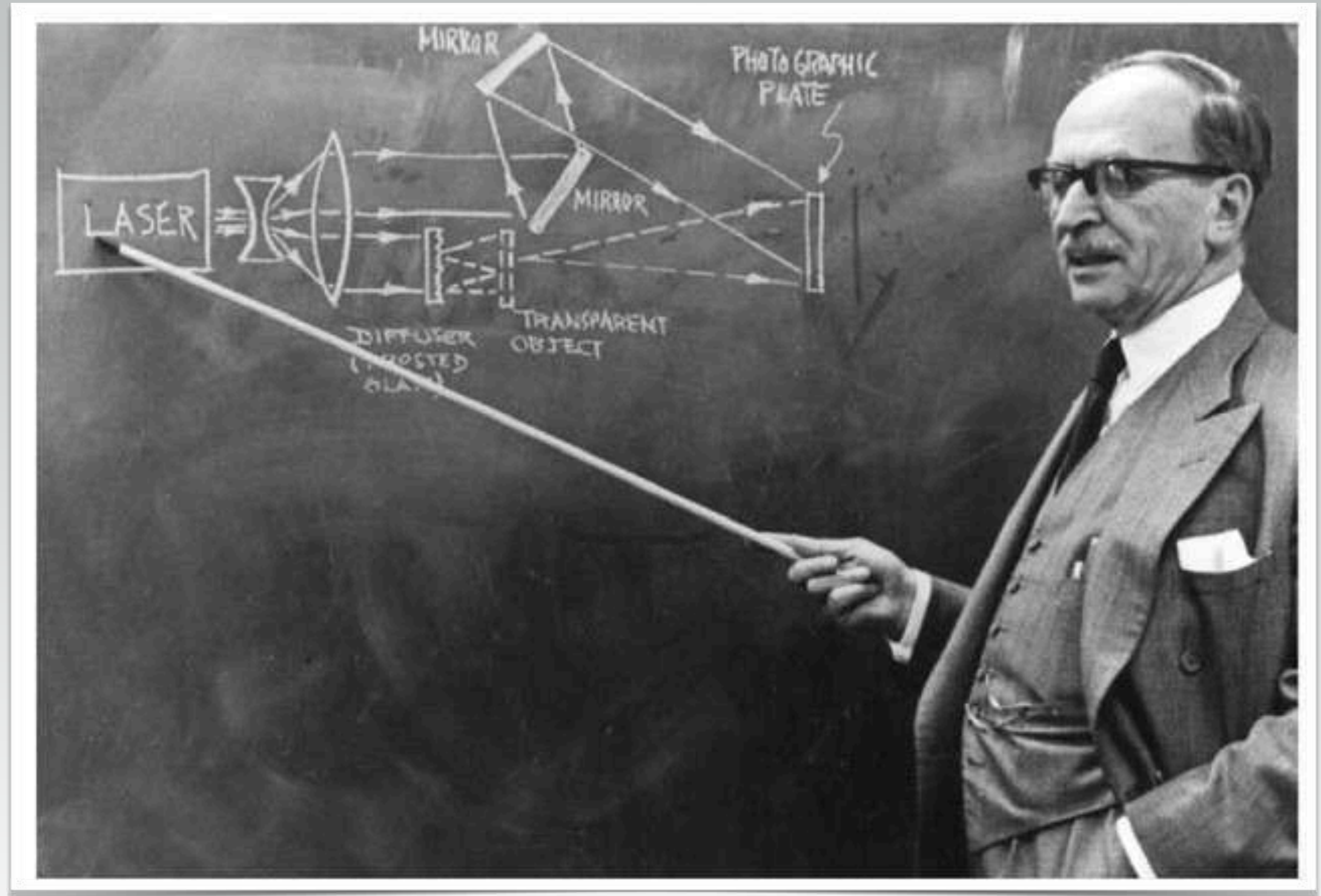


# Olografia: una foto che contiene informazioni 3D di un oggetto

**Dennis Gabor,**

**Nobel prize in Physics 1971**

**“for his invention and development  
of the holographic method”.**

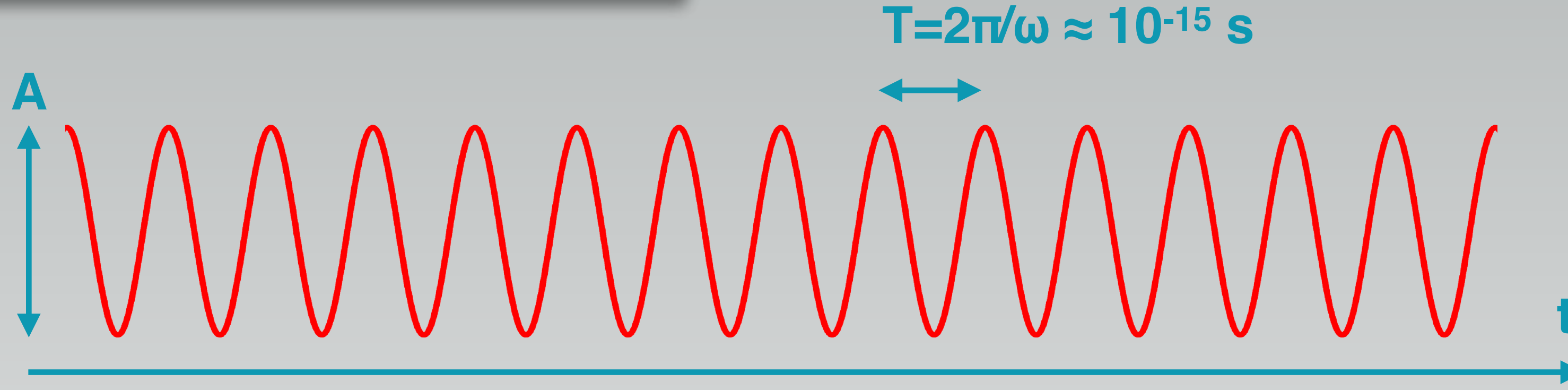


**Concetti importanti per capire l'olografia: 1) Fase di un'onda; 2) Interferenza tra due onde**



# La fase di un'onda piana

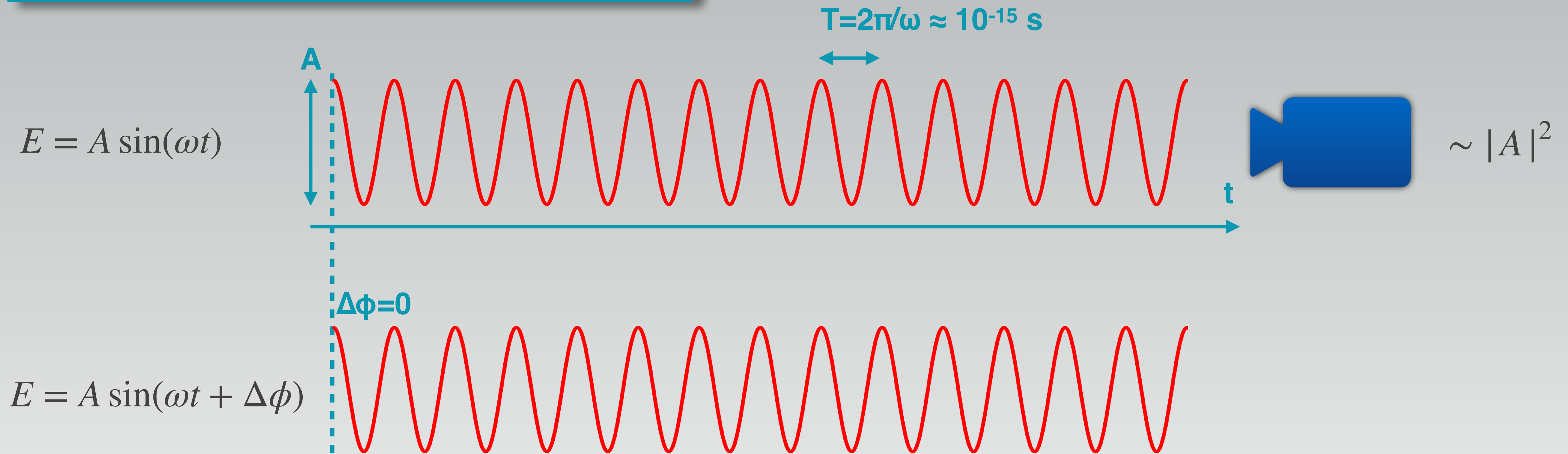
$$E = A \sin(\omega t)$$



$$\sim |A|^2$$

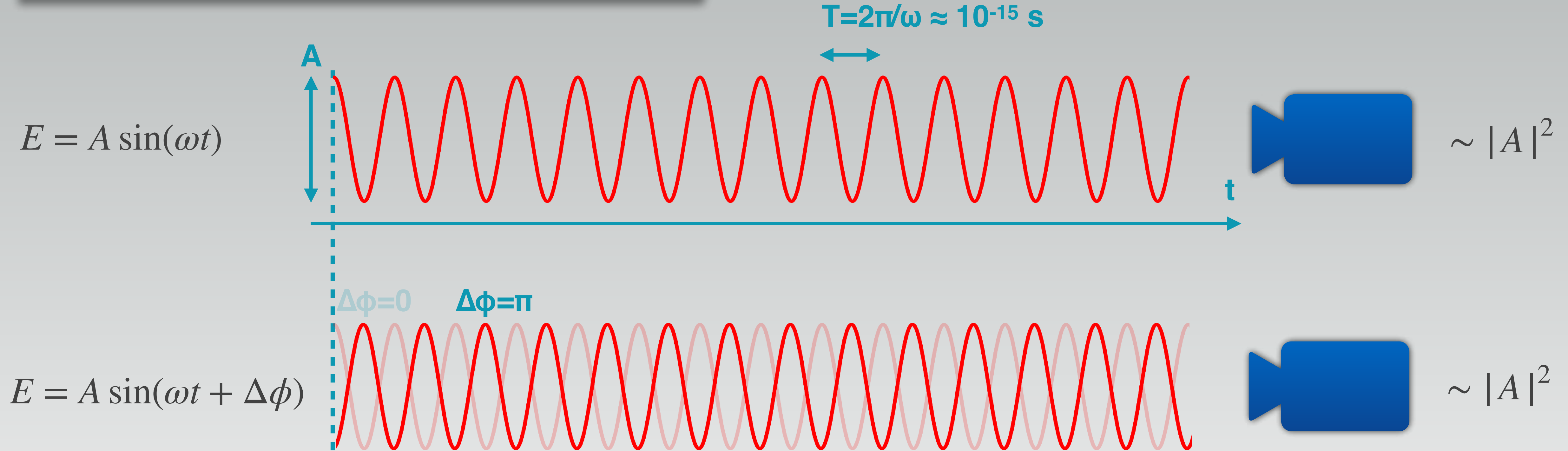


# La fase di un'onda piana





# La fase di un'onda piana

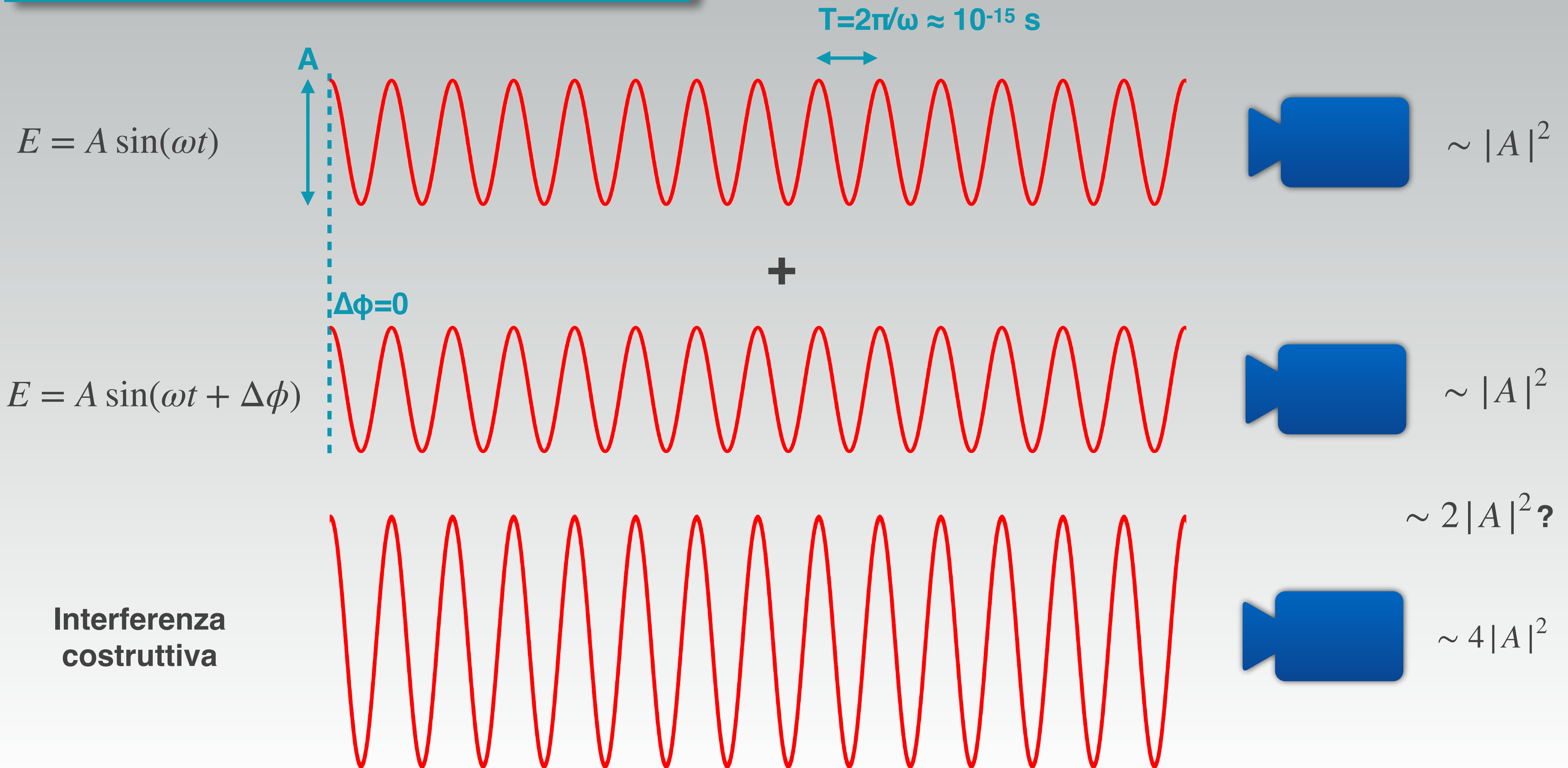


**I detector che abbiamo, compresi i nostri occhi, non sono in grado di registrare direttamente la fase di un'onda elettromagnetica**

**Una parte dell'informazione sulla luce si perde, rendendo impossibile registrare informazioni 3D**

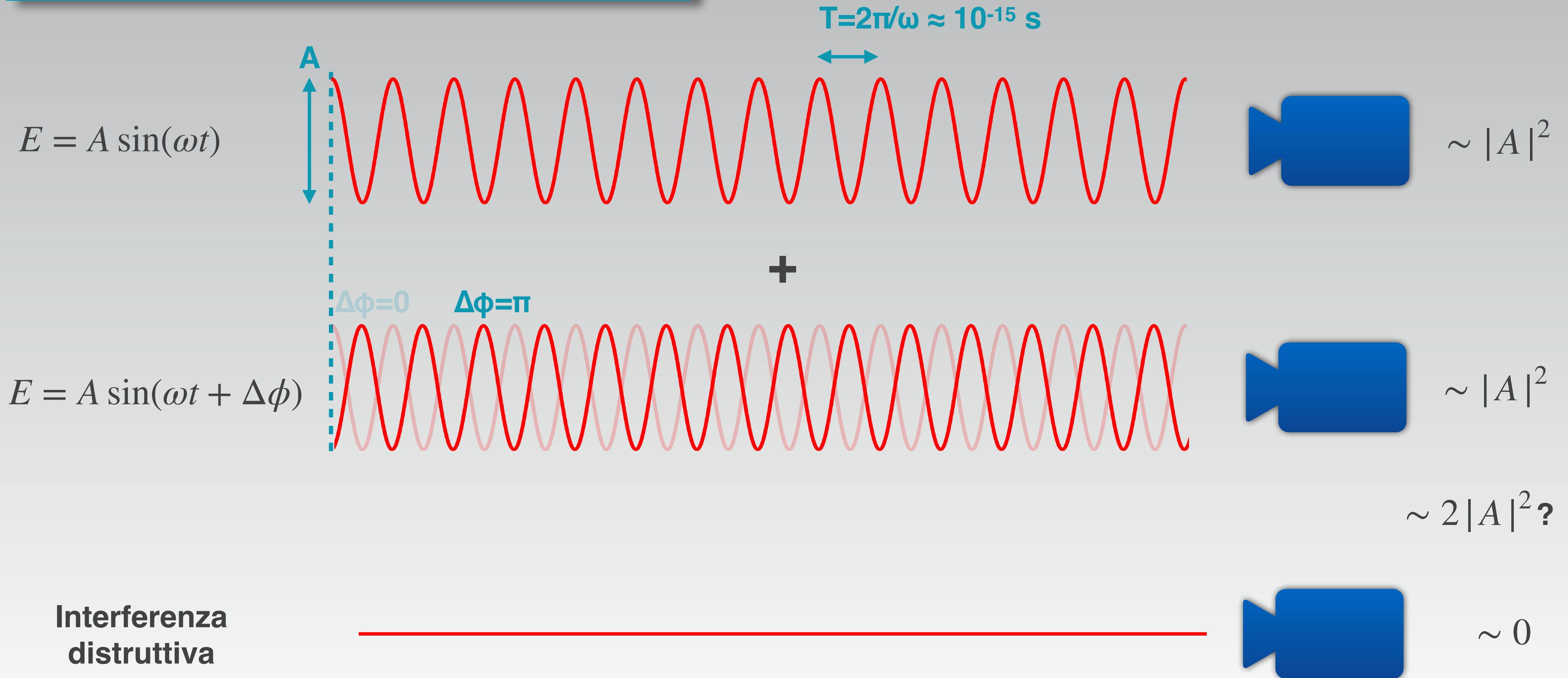


# Interferenza fra due onde





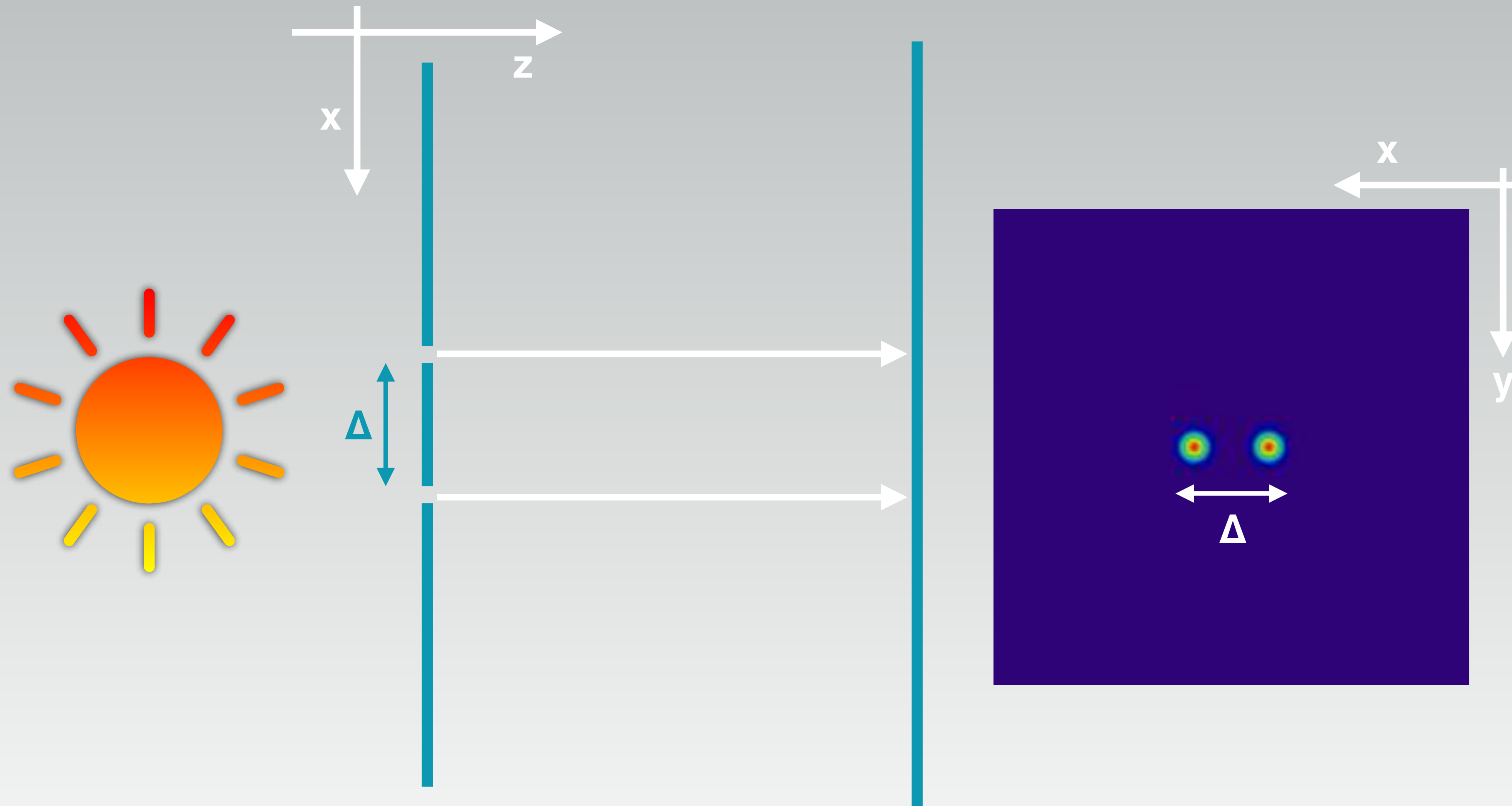
# Interferenza fra due onde



Misurando l'interferenza tra due onde abbiamo informazioni sulla loro fase relativa

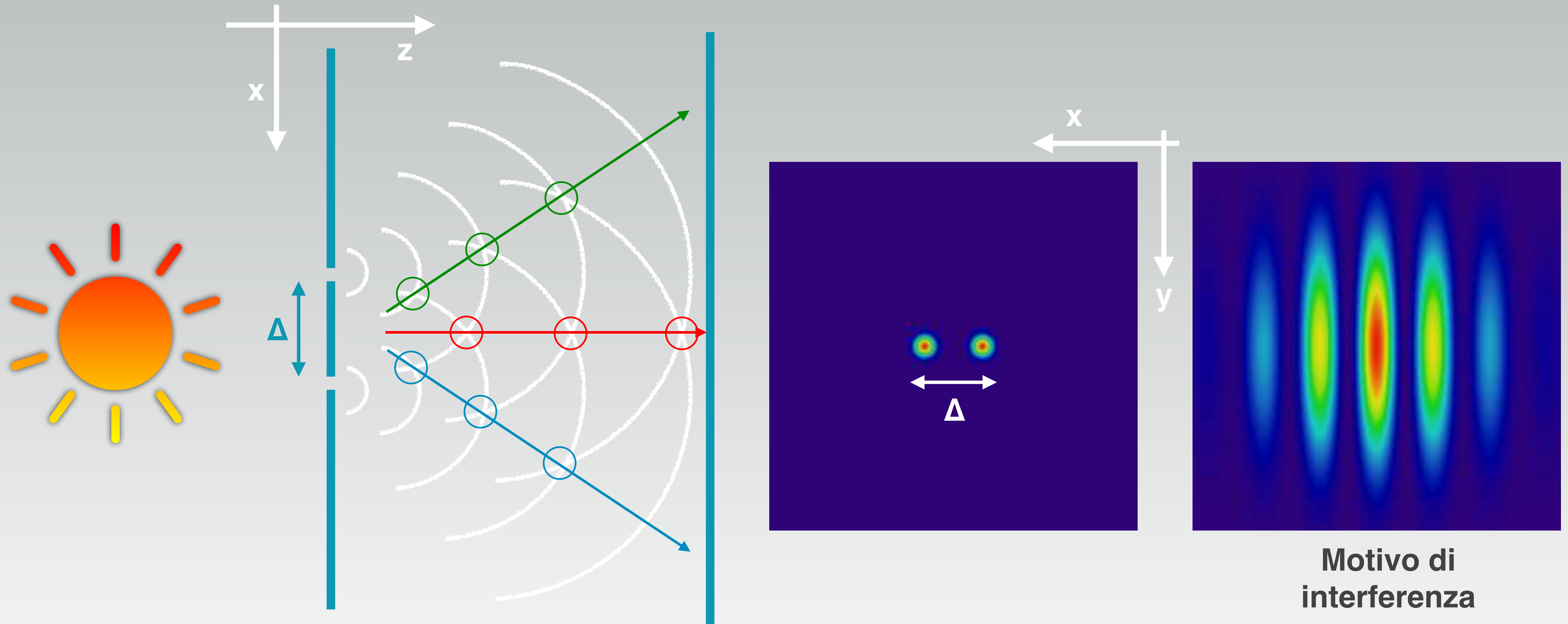


# Young double slit experiment





# Young double slit experiment



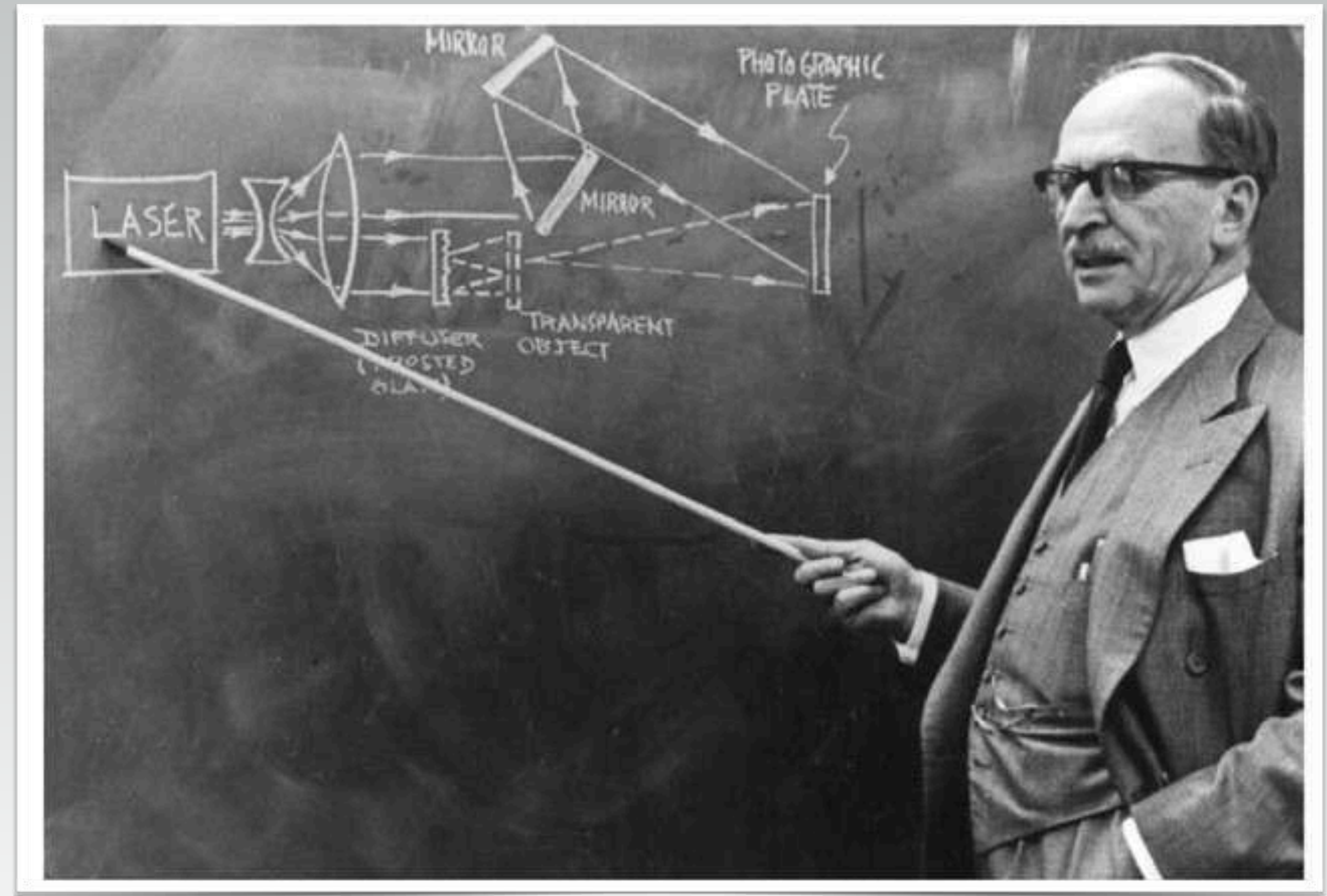
Due onde che si sovrappongono generano interferenza; si ridistribuiscono formando un motivo complesso

La luce, dopo aver incontrato un ostacolo, in generale non si propaga in linea retta



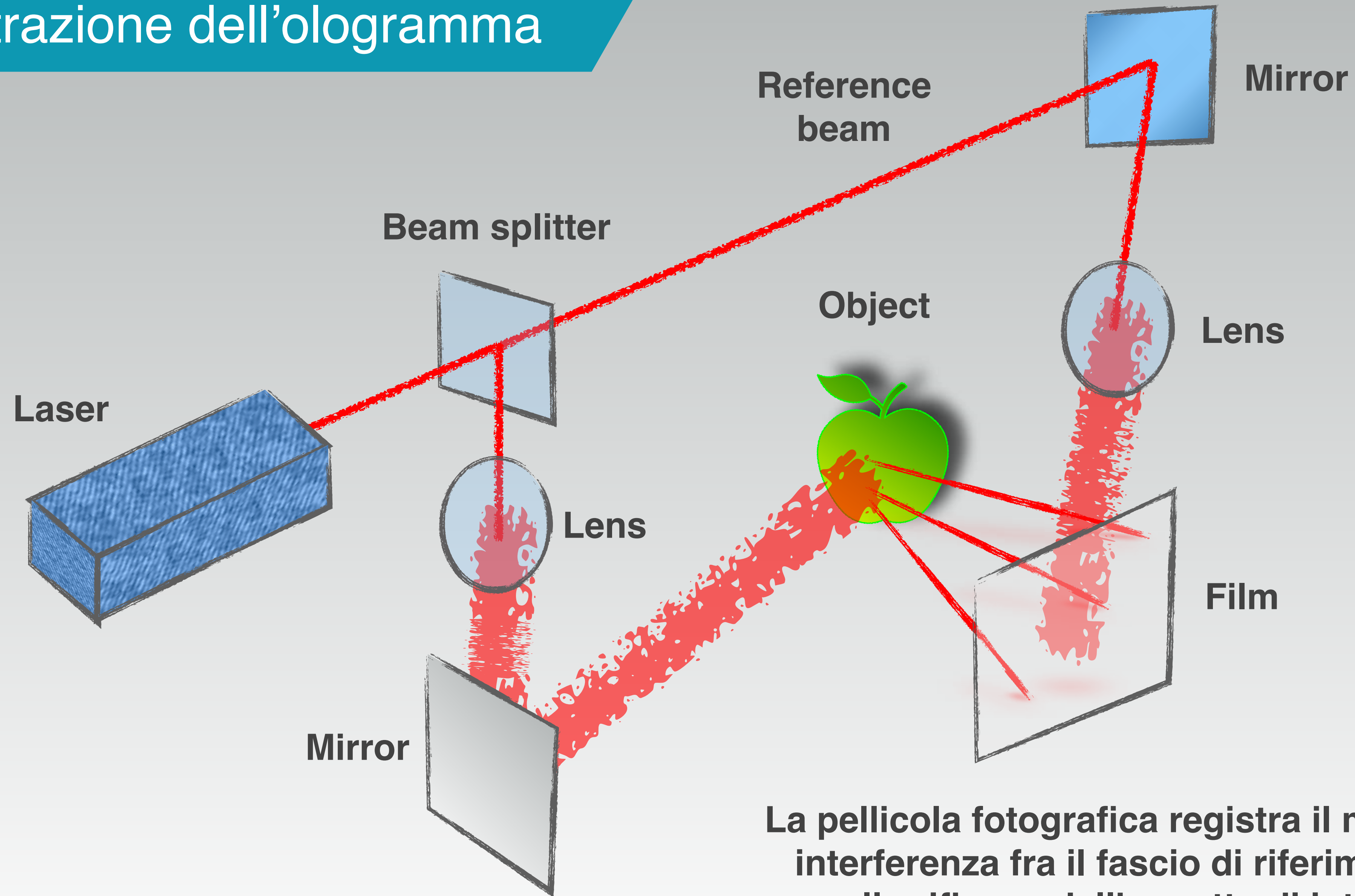
# Olografia e interferenza: i due passi fondamentali

1. **Registrazione dell'ologramma:**  
informazione di fase dell'onda riflessa  
dall'oggetto di interesse
2. **Ricostruzione dell'onda di interesse**  
(in 3D) utilizzando  
onda di riferimento + ologramma





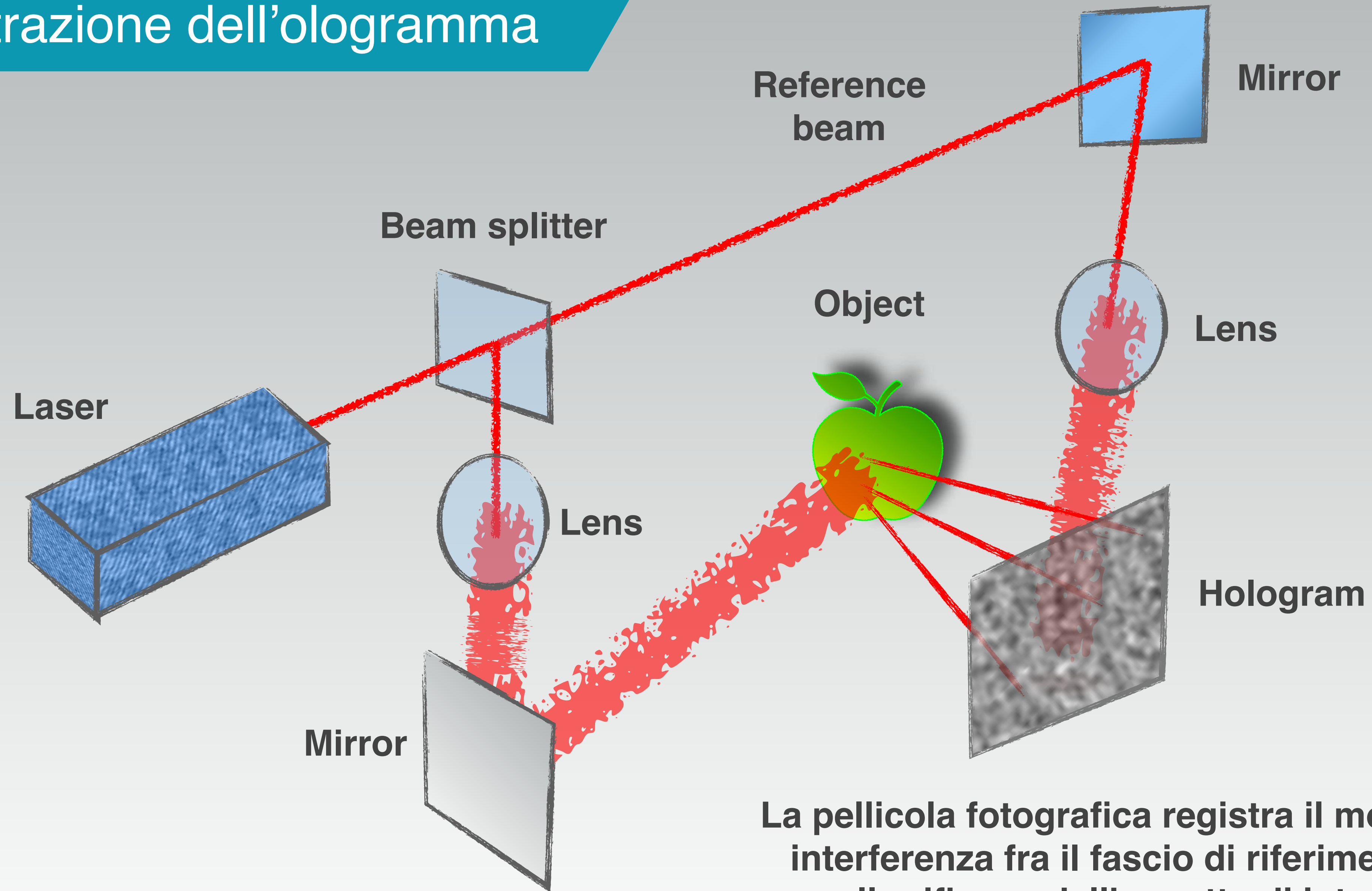
# Registrazione dell'ologramma



La pellicola fotografica registra il motivo di interferenza fra il fascio di riferimento e quello riflesso dall'oggetto di interesse



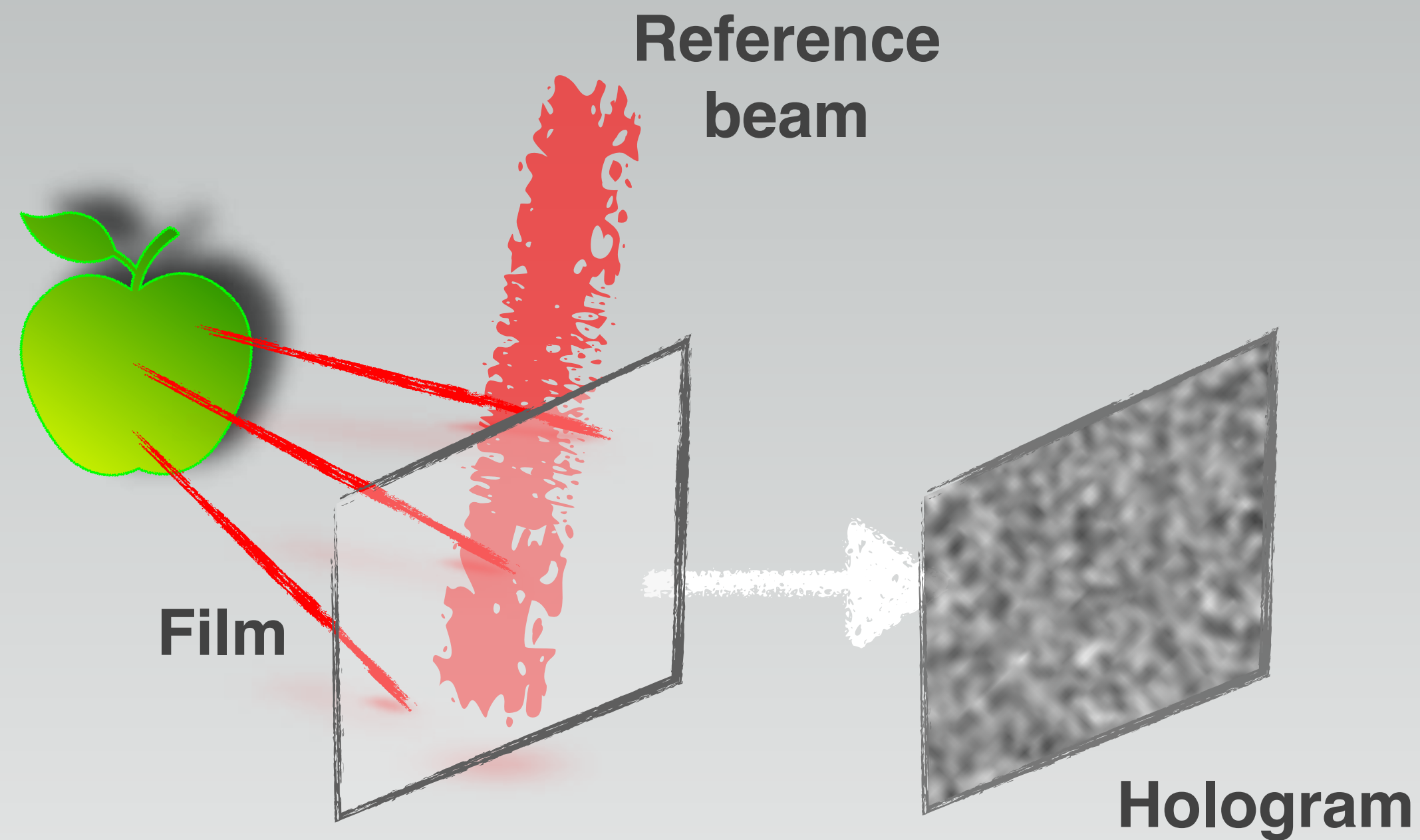
# Registrazione dell'ologramma



La pellicola fotografica registra il motivo di interferenza fra il fascio di riferimento e quello riflesso dall'oggetto di interesse



# Registrazione dell'ologramma



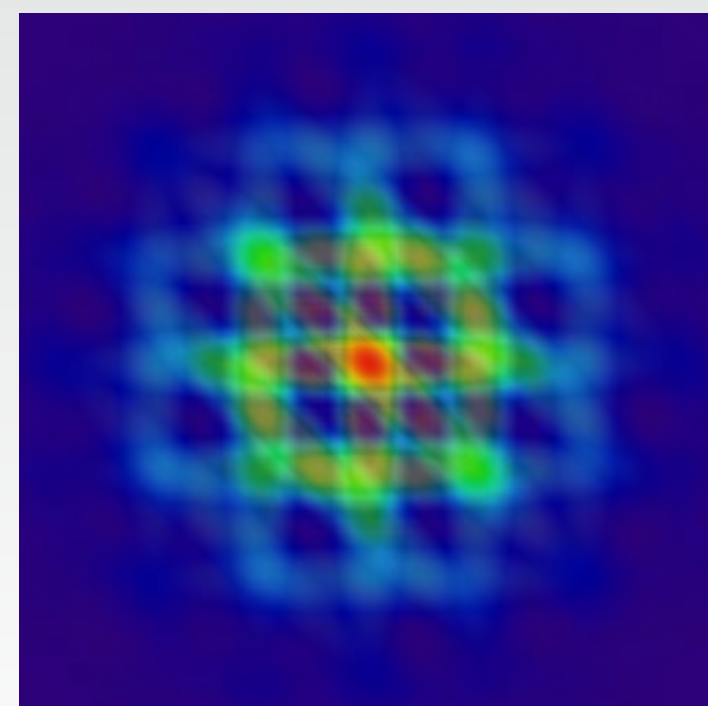
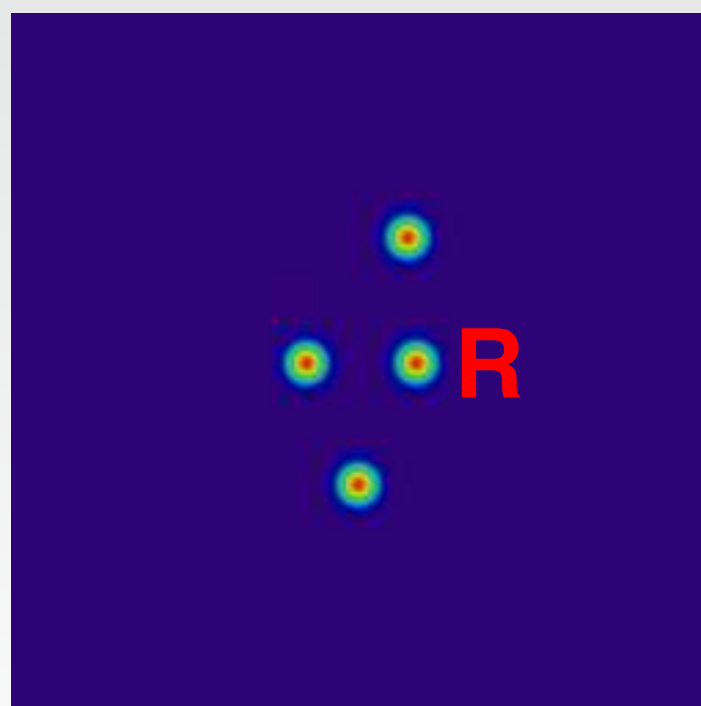
Punti diversi dell'oggetto riflettono il fascio luminoso a diversi angoli e con fasi diverse

Ogni raggio riflesso interferisce con quello di riferimento formando un motivo di interferenza

L'ologramma completo è la sovrapposizione di tutti i motivi di interferenza

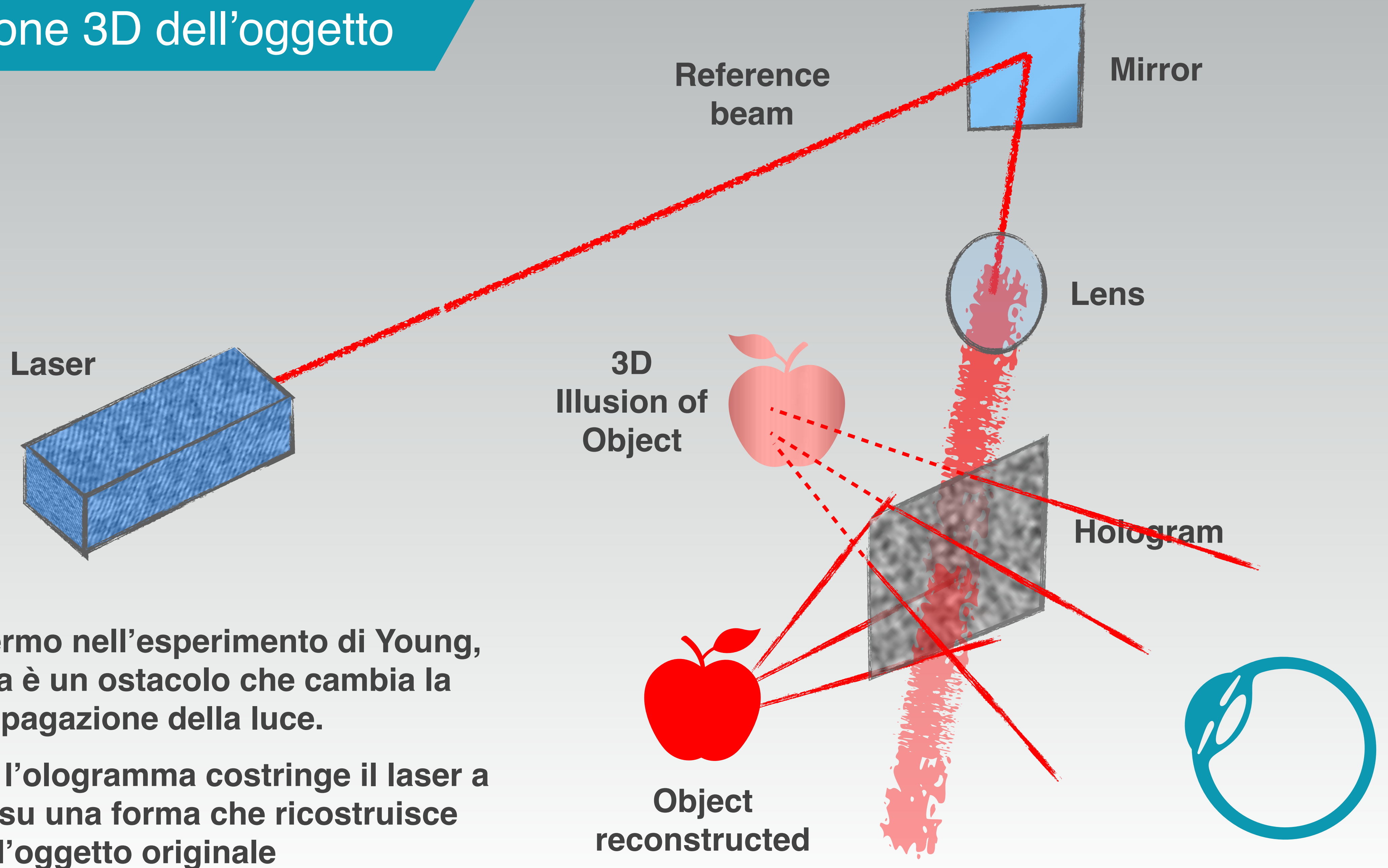
L'ologramma contiene informazione di tutti i raggi riflessi, ma non è una foto dell'oggetto.

Per leggere le informazioni c'è bisogno del secondo passo: **la ricostruzione dell'oggetto**





# Ricostruzione 3D dell'oggetto



Come lo schermo nell'esperimento di Young, l'ologramma è un ostacolo che cambia la propagazione della luce.

In particolare, l'ologramma costringe il laser a focalizzarsi su una forma che ricostruisce l'oggetto originale







# Olografia analogica e interferenza

Le camere di cui disponiamo non misurano la fase di un'onda

Un'ologramma registra l'interferenza tra fascio di riferimento e oggetto

Leggendo l'ologramma con il fascio di riferimento si ricrea l'informazione 3D dell'oggetto

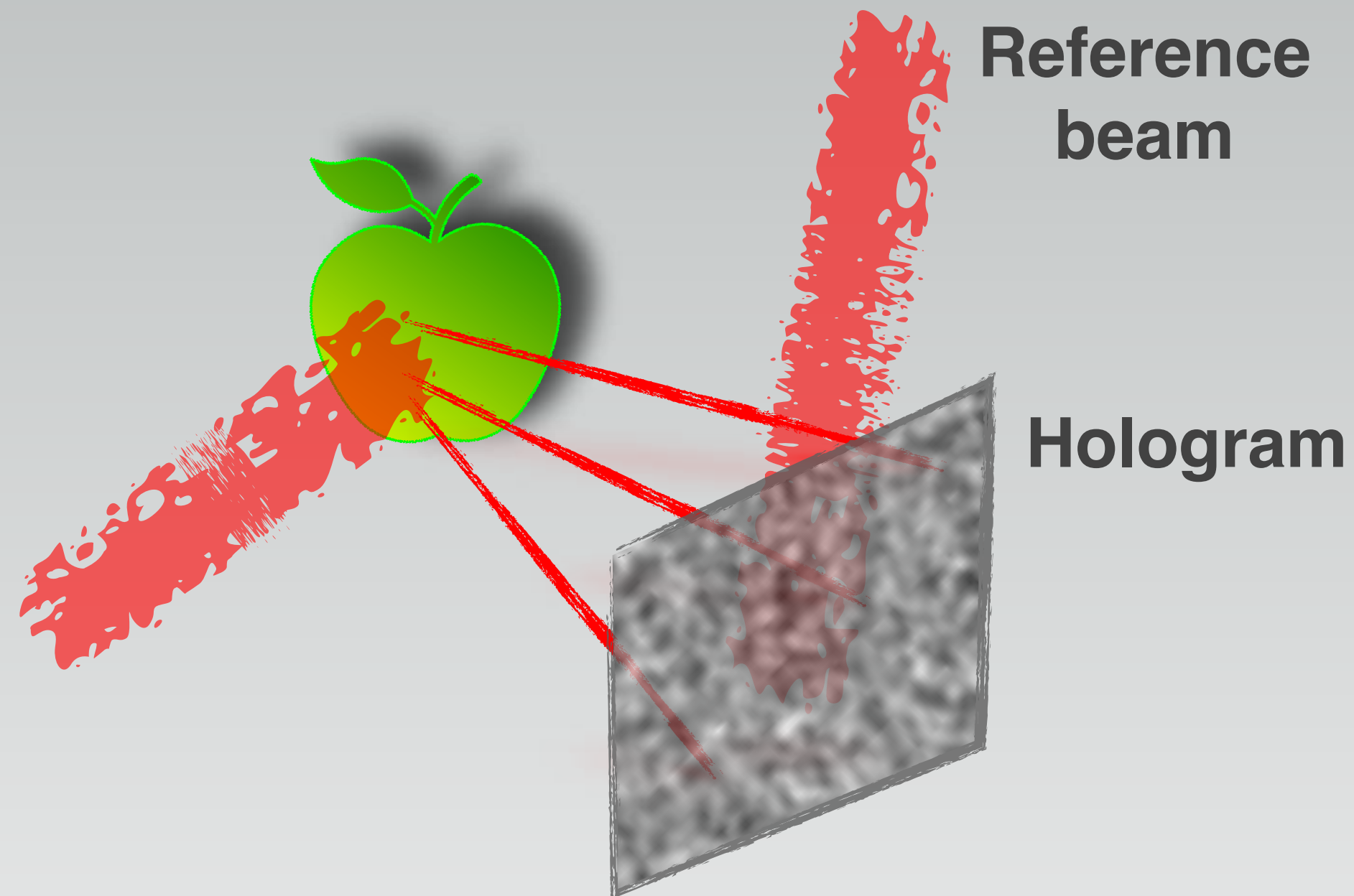


L'olografia è ancora poco usata per proiettori realmente 3D

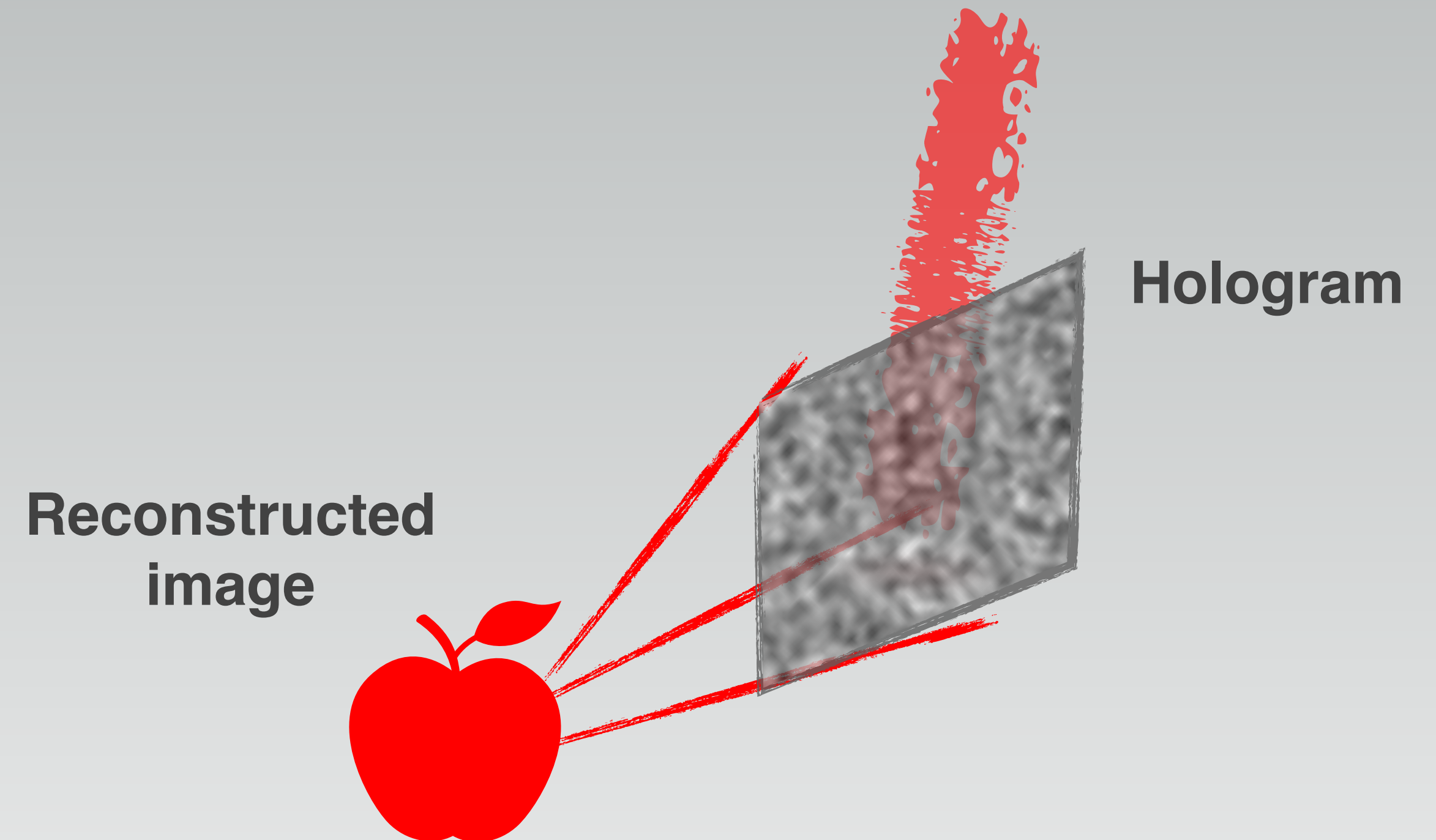
Numerose applicazioni nell'ambito della microscopia



## Registrazione ologramma



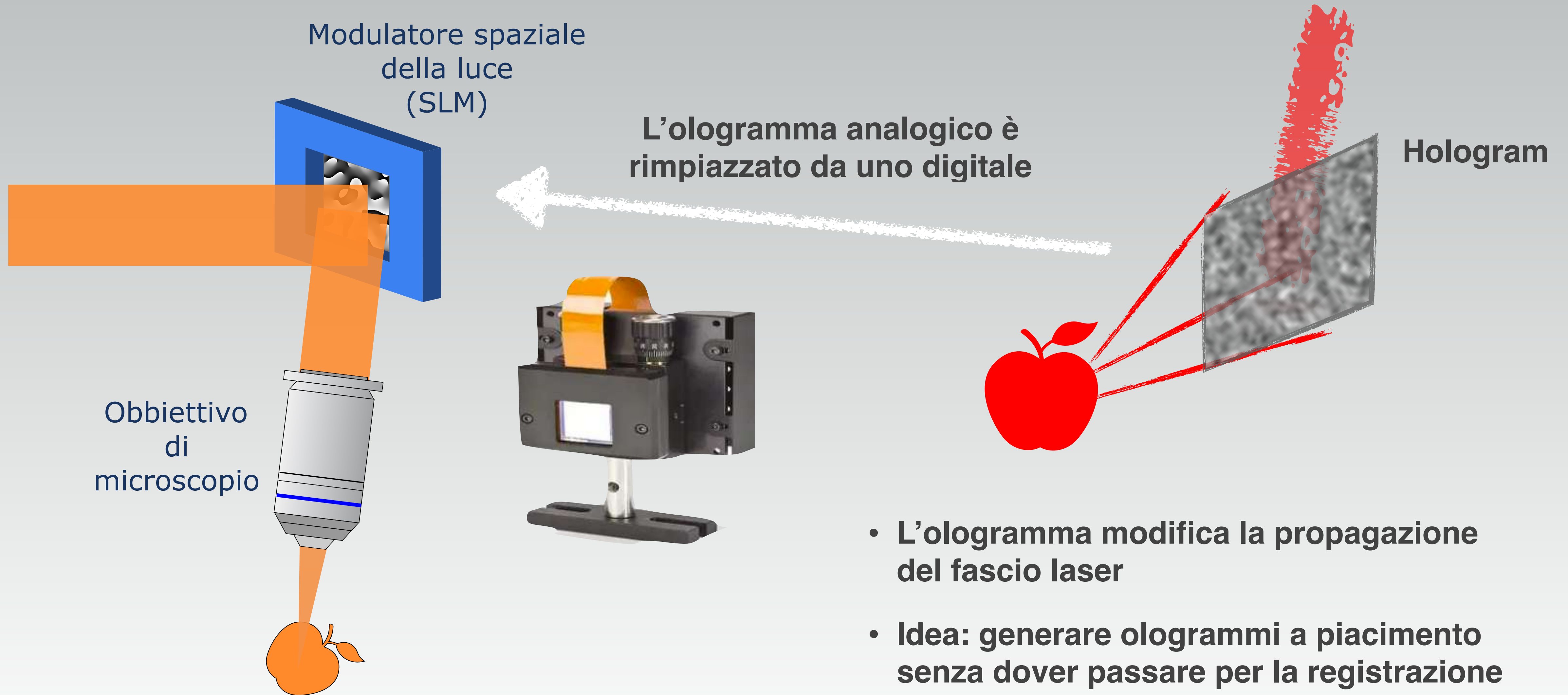
## Lettura ologramma



- L'ologramma modifica la propagazione del fascio laser
- Idea: generare ologrammi a piacimento senza dover passare per la registrazione



# Da analogico a digitale: computer generated holography



- L'ologramma modifica la propagazione del fascio laser
- Idea: generare ologrammi a piacimento senza dover passare per la registrazione
- **Olografia generata da computer**

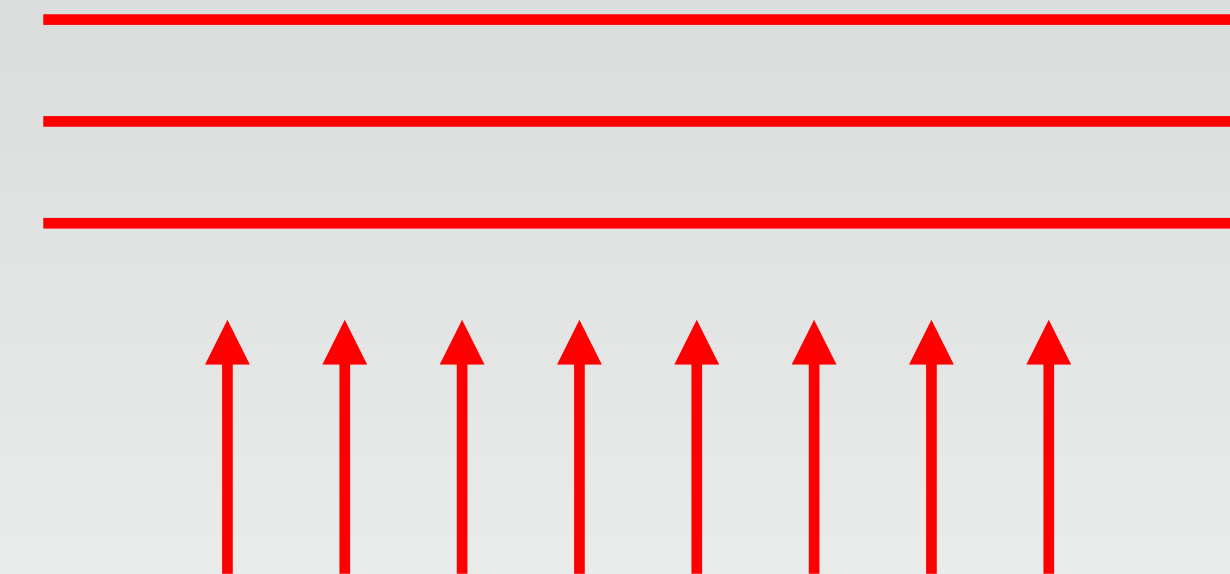
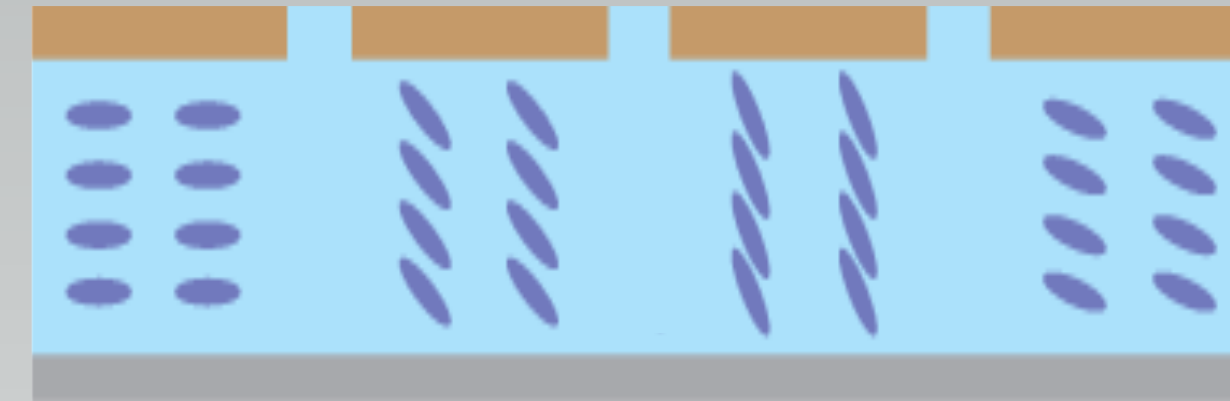


# Modulatore spaziale della luce



Matrice di 1000\*1000 pixel di cristalli liquidi che possiamo controllare con computer

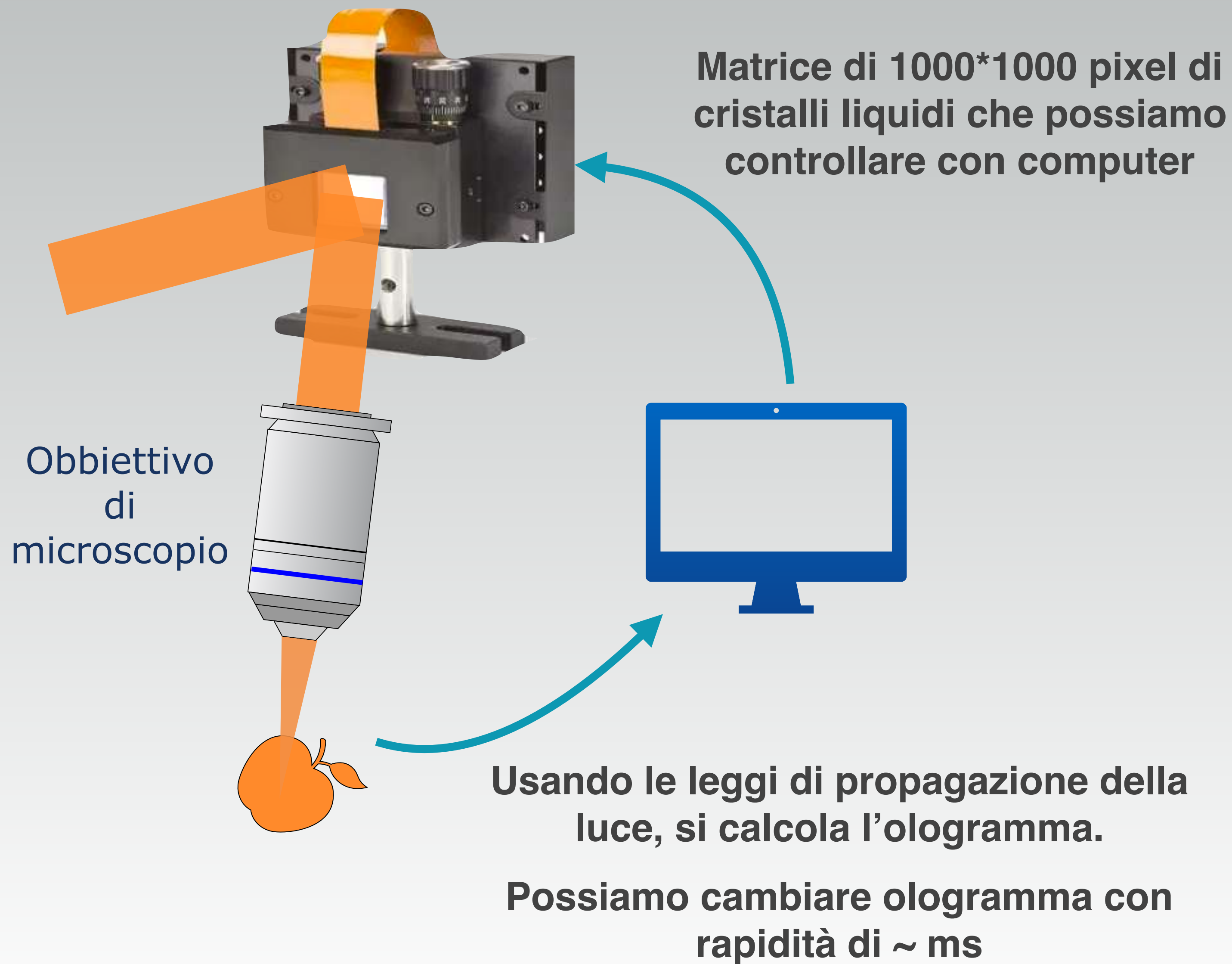
Orientazione cristalli liquidi diversa = cambio fase



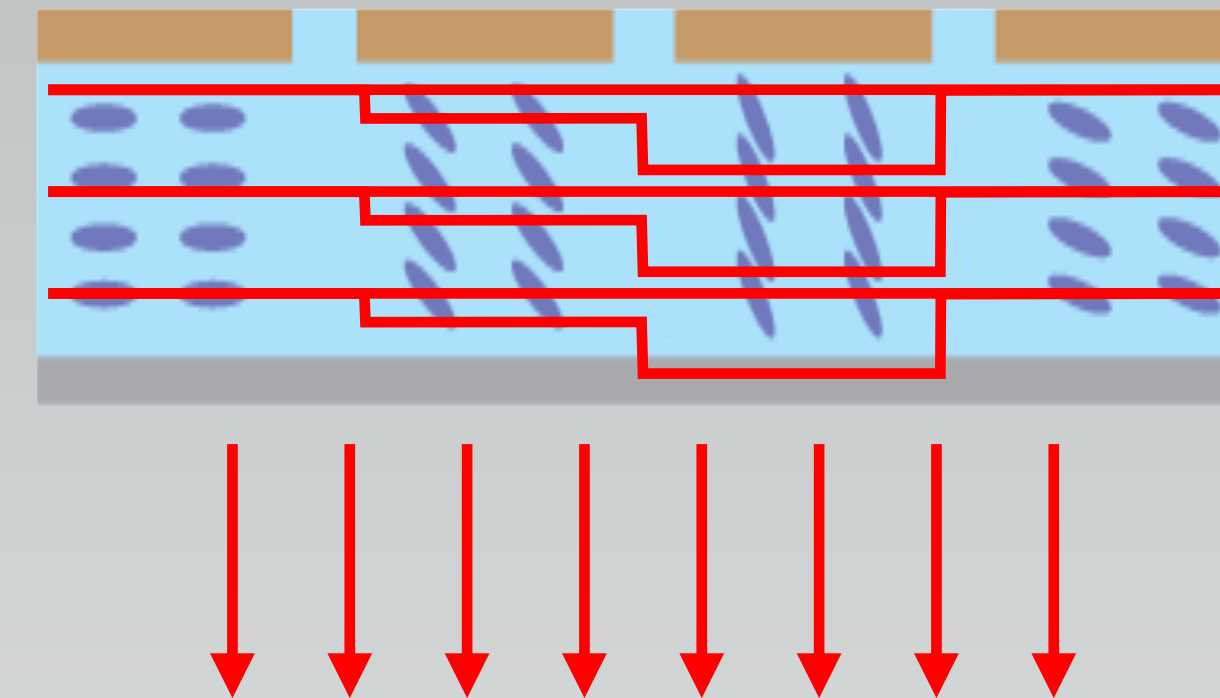
Tutte le componenti del fascio inizialmente in fase



# Modulatore spaziale della luce

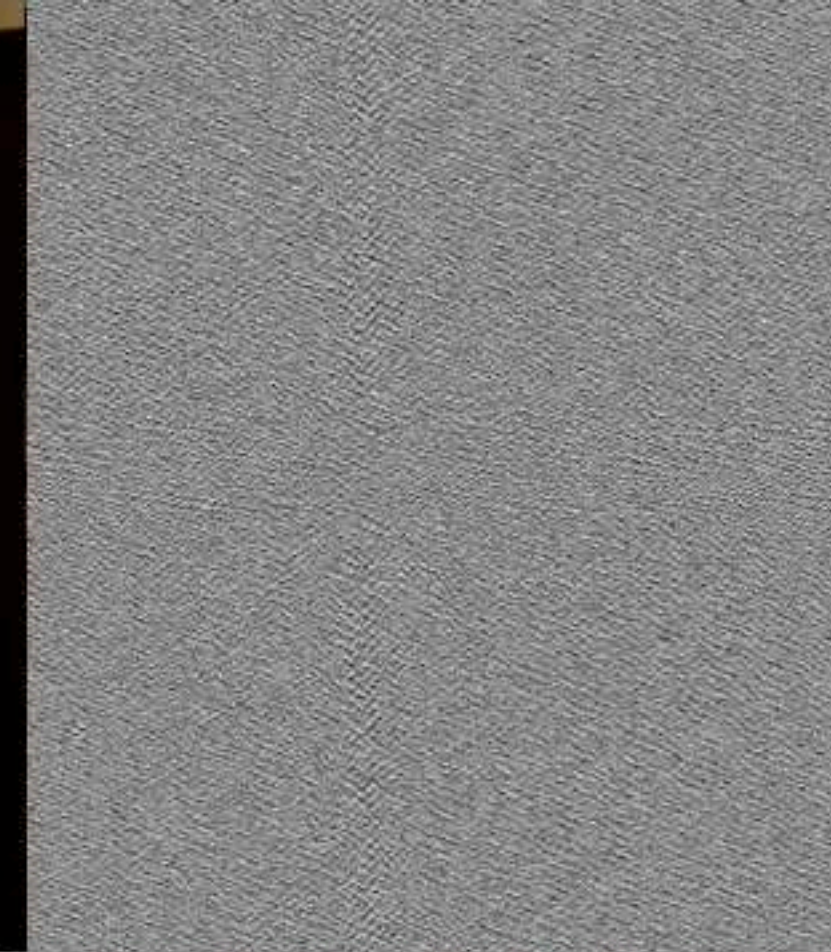


Orientazione cristalli liquidi diversa = cambio fase



L'SLM modifica la propagazione della luce e può funzionare come un ologramma





**Siamo ad oggi in grado di generare, almeno su un numero limitato di piani, tutte le illuminazioni laser di interesse**

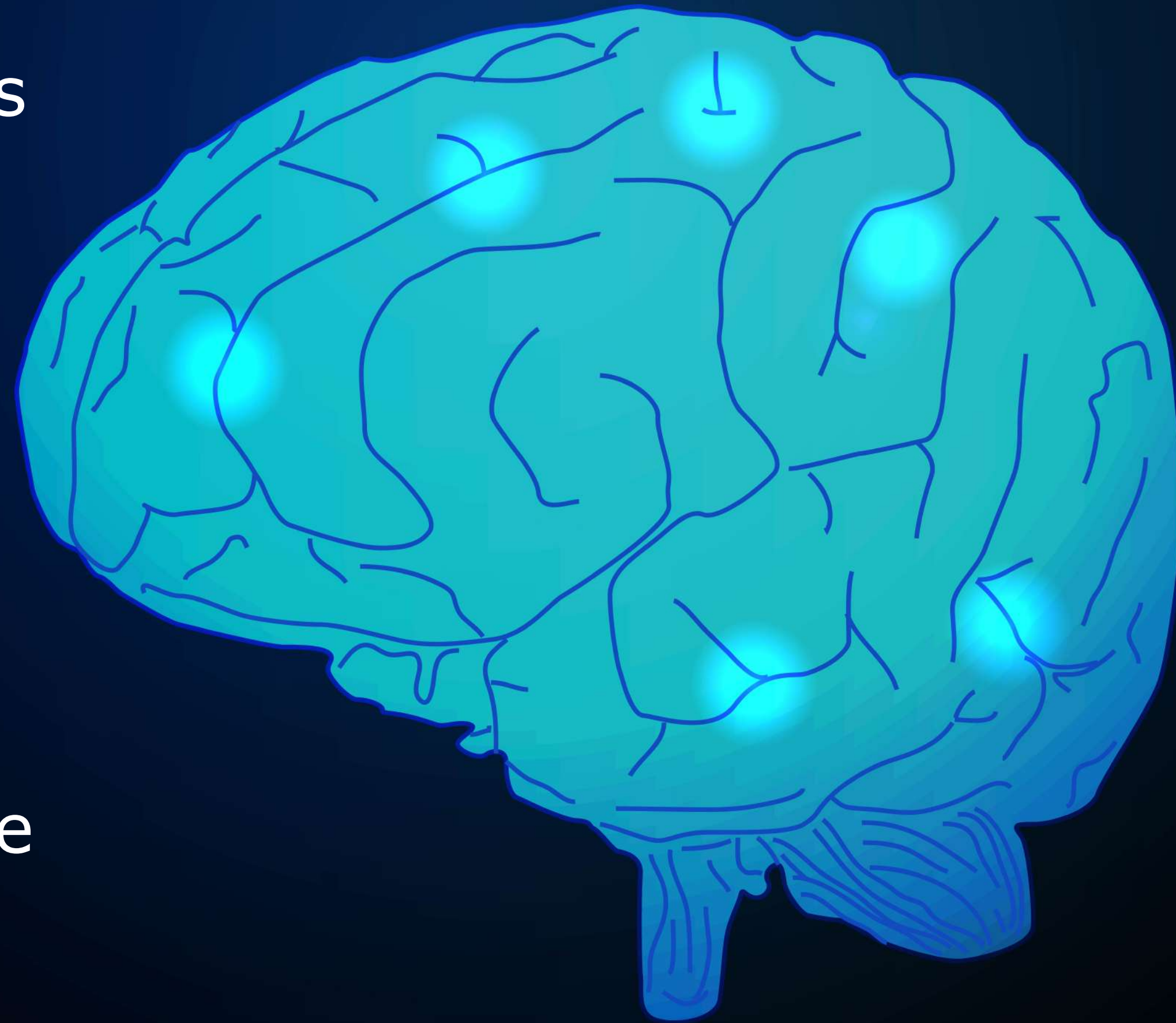
**Come usarle?**





# The challenge of studying the brain

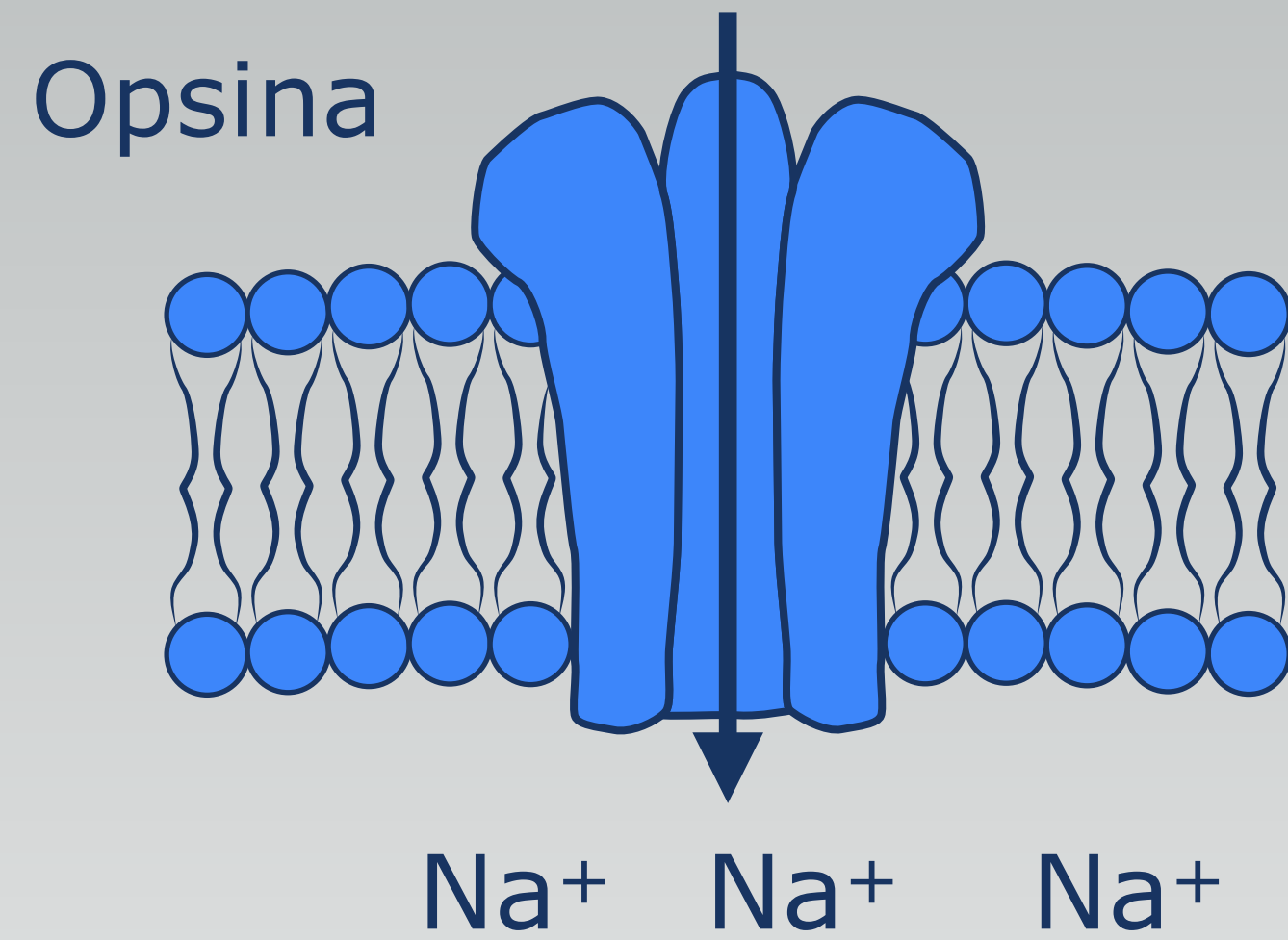
$10^{11}$  neurons  
 $10^{14}$  connections  
ms timescale



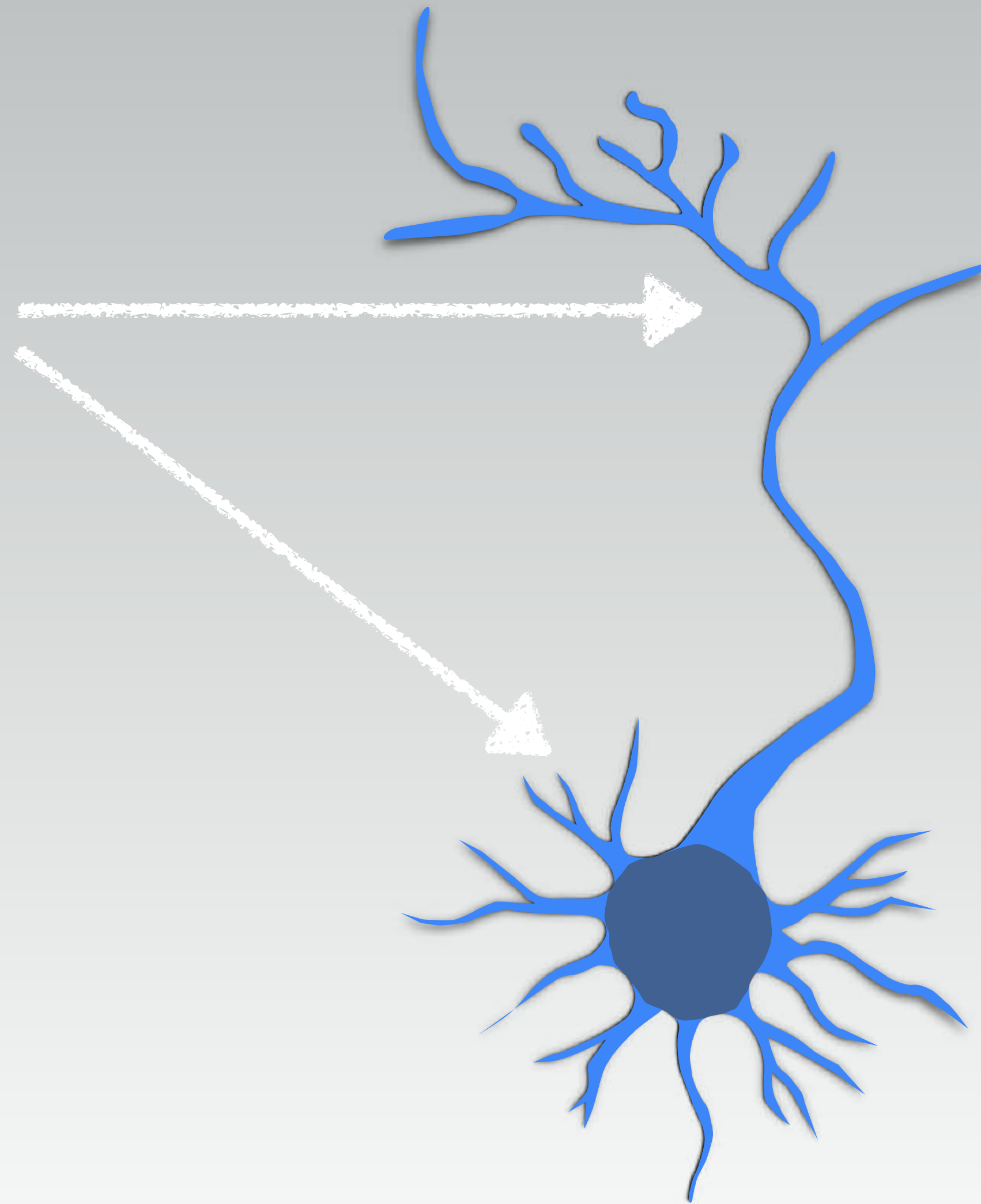
L'olografia digitale ci dà uno strumento in più per decifrare il cervello



# Optogenetica



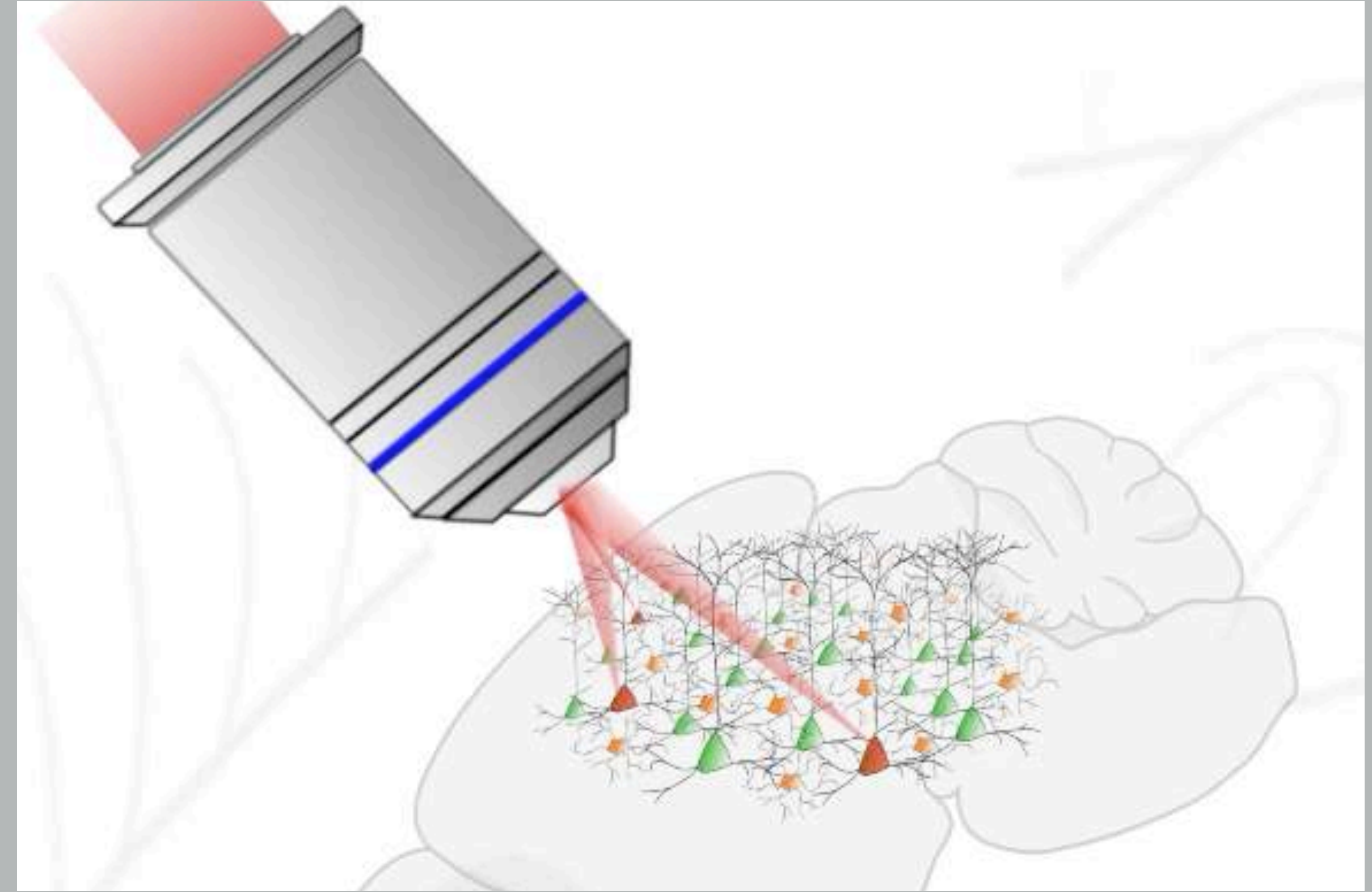
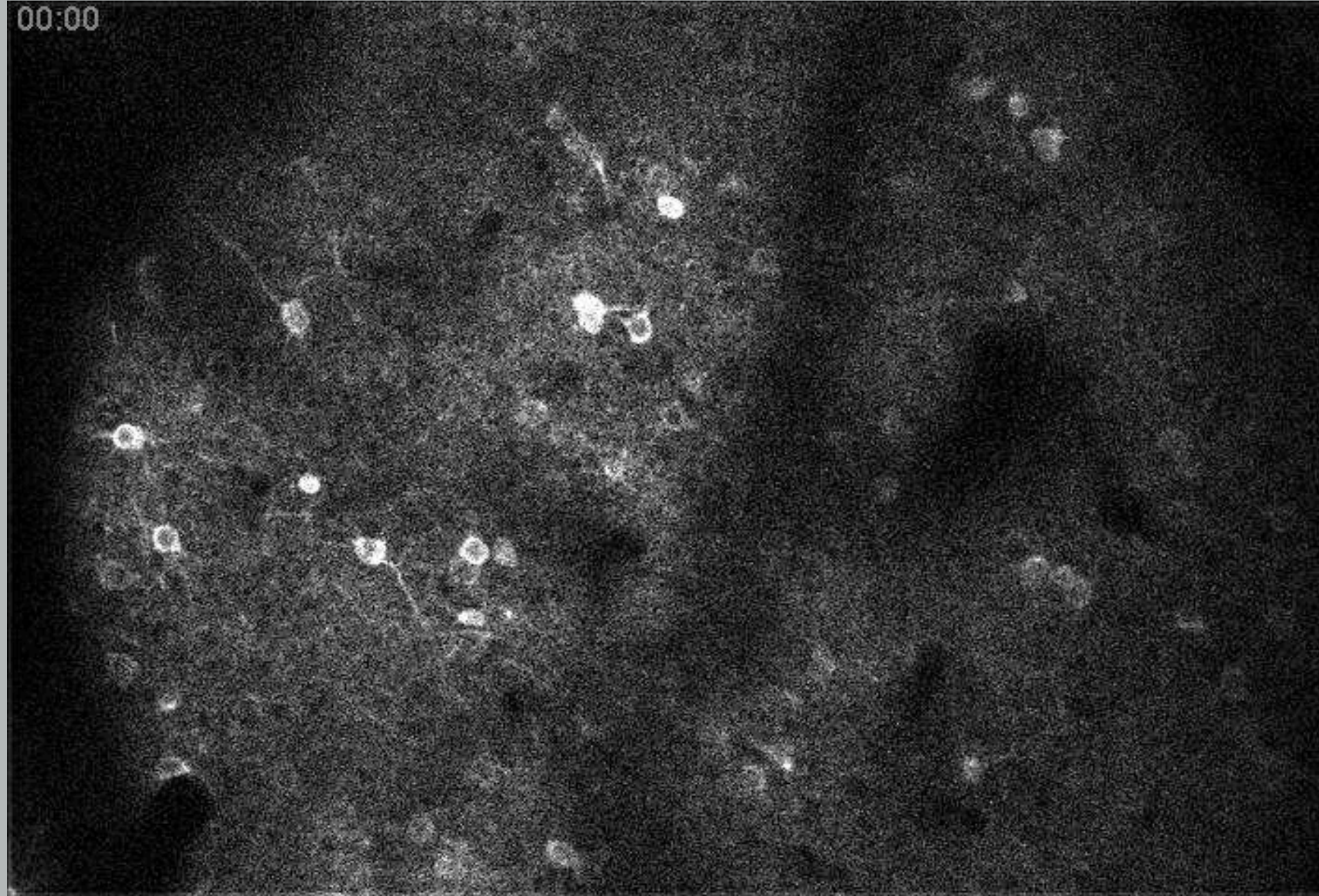
Method of year 2010



1. **Espressione genetica ospine: neuroni diventano fotosensibili**
2. **Illuminando i neuroni ne induciamo o inibiamo l'attività: **fotostimolazione****
3. **Obiettivo: capire come funzionano i circuiti neuronali**



# Riprodurre la complessità delle connessioni neuronali

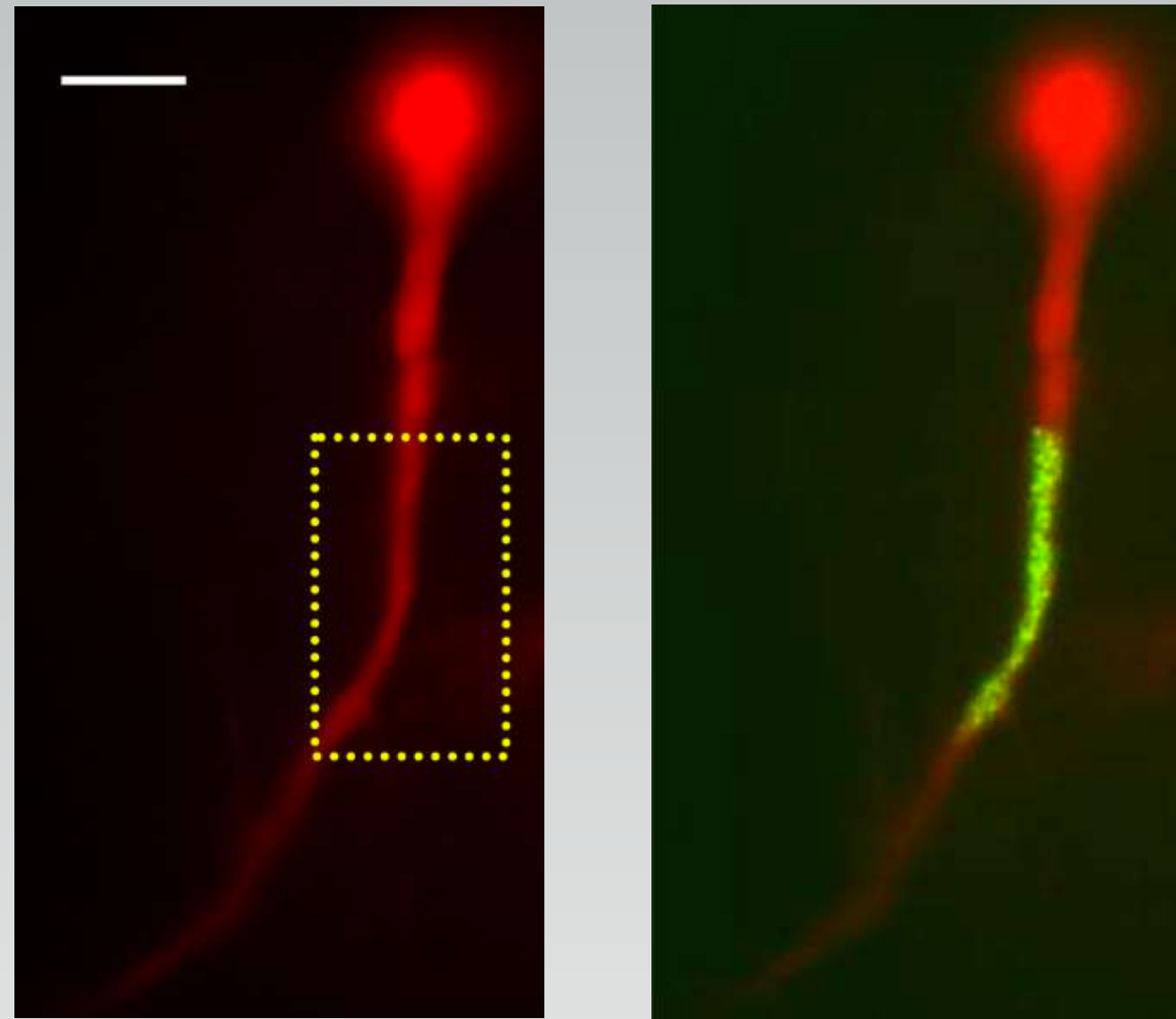


**Per capire come funziona la rete abbiamo bisogno di attivare/inibire selettivamente gruppi neuroni diversi su scale spaziali grandi (mm) e temporali piccole (ms).**

**L'applicazione perfetta per l'olografia digitale.**



# Precisione e profondità raggiungibile con olografia

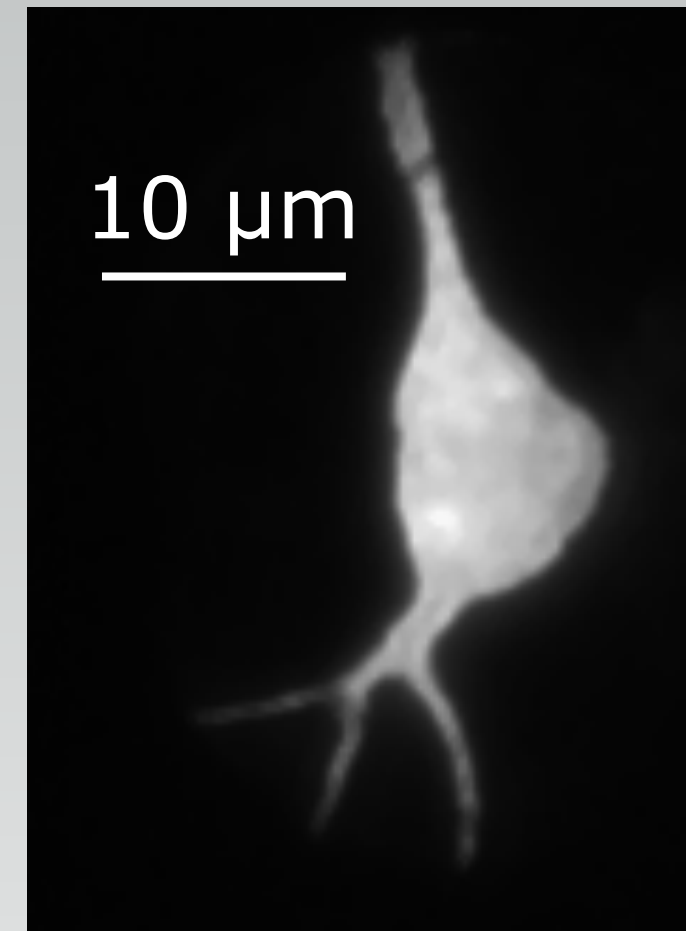


Lutz et al, Nat. Methods 2008

**Illuminazione selettiva di singoli neuroni o parti di cellule.**

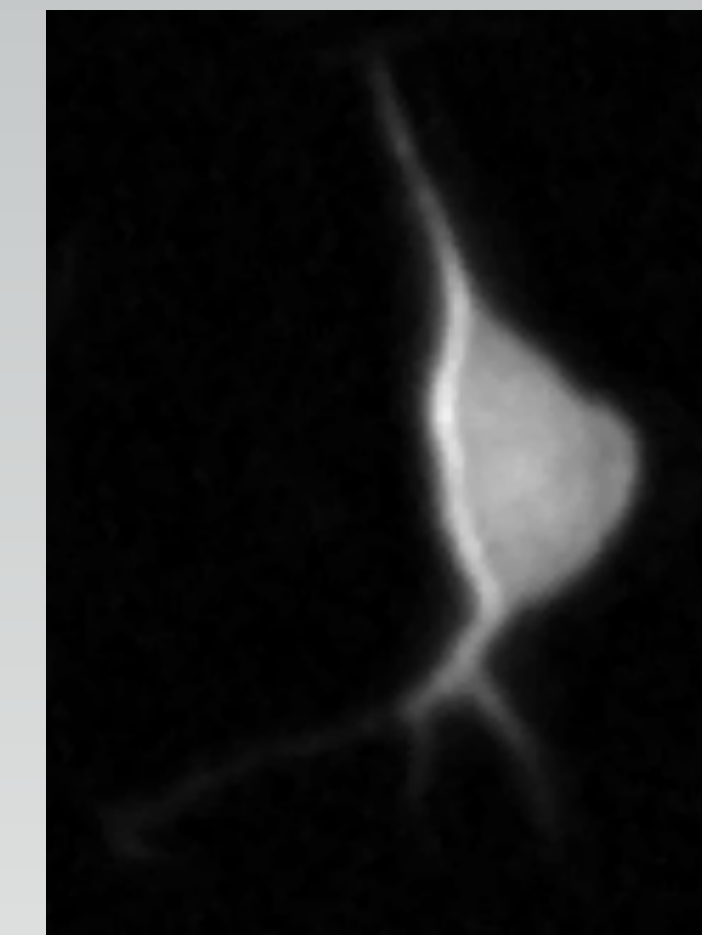
**Con la tecnica di temporal focusing si ottiene ancor più precisione e la possibilità di arrivare in profondità.**

**No Scattering**

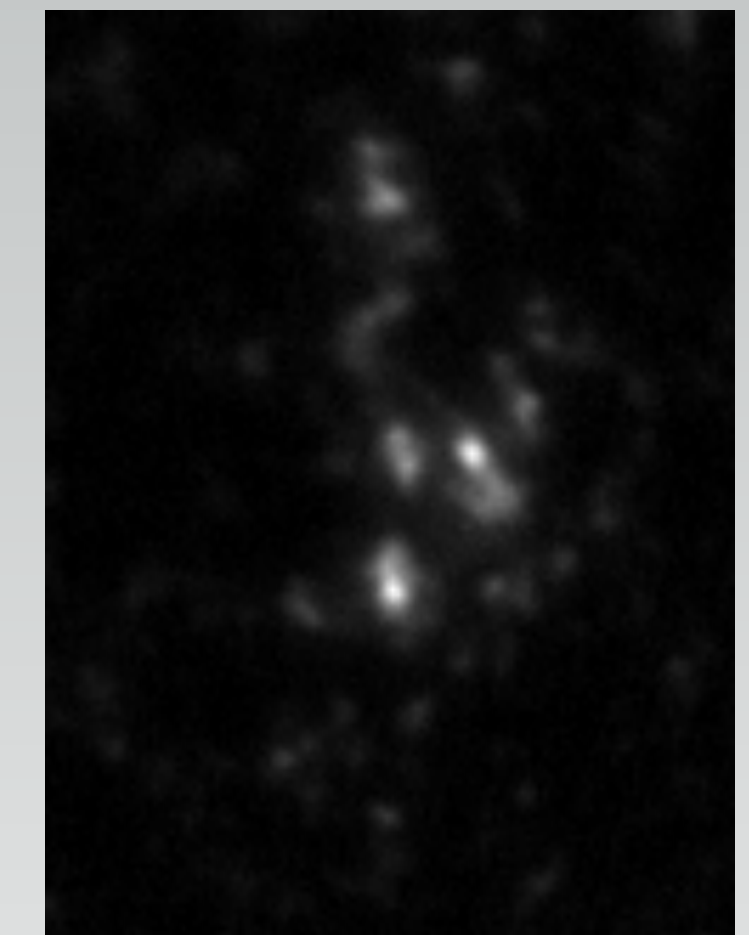


Papagiakoumou et al  
Nat. Photon (2013)

**After 550 μm of tissue**

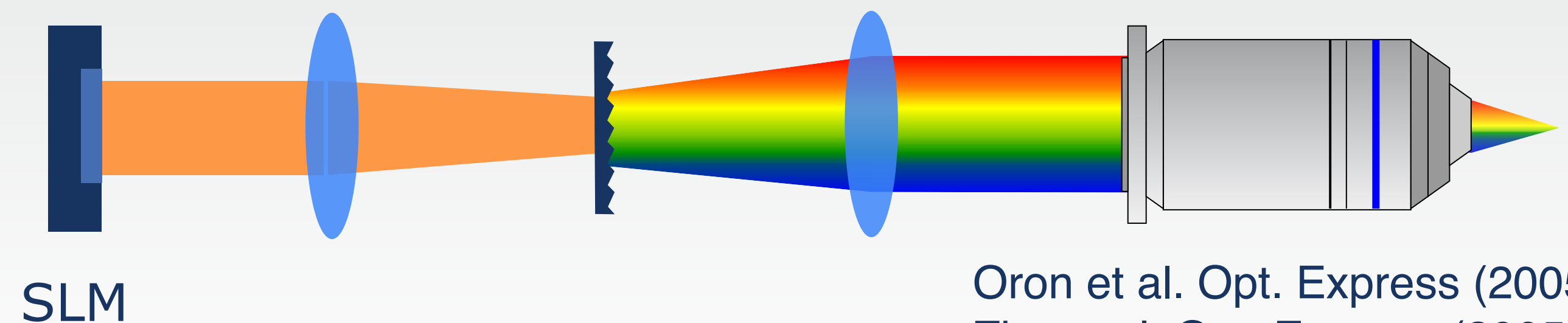


**TF**



**No TF**

**Temporal focusing technique**

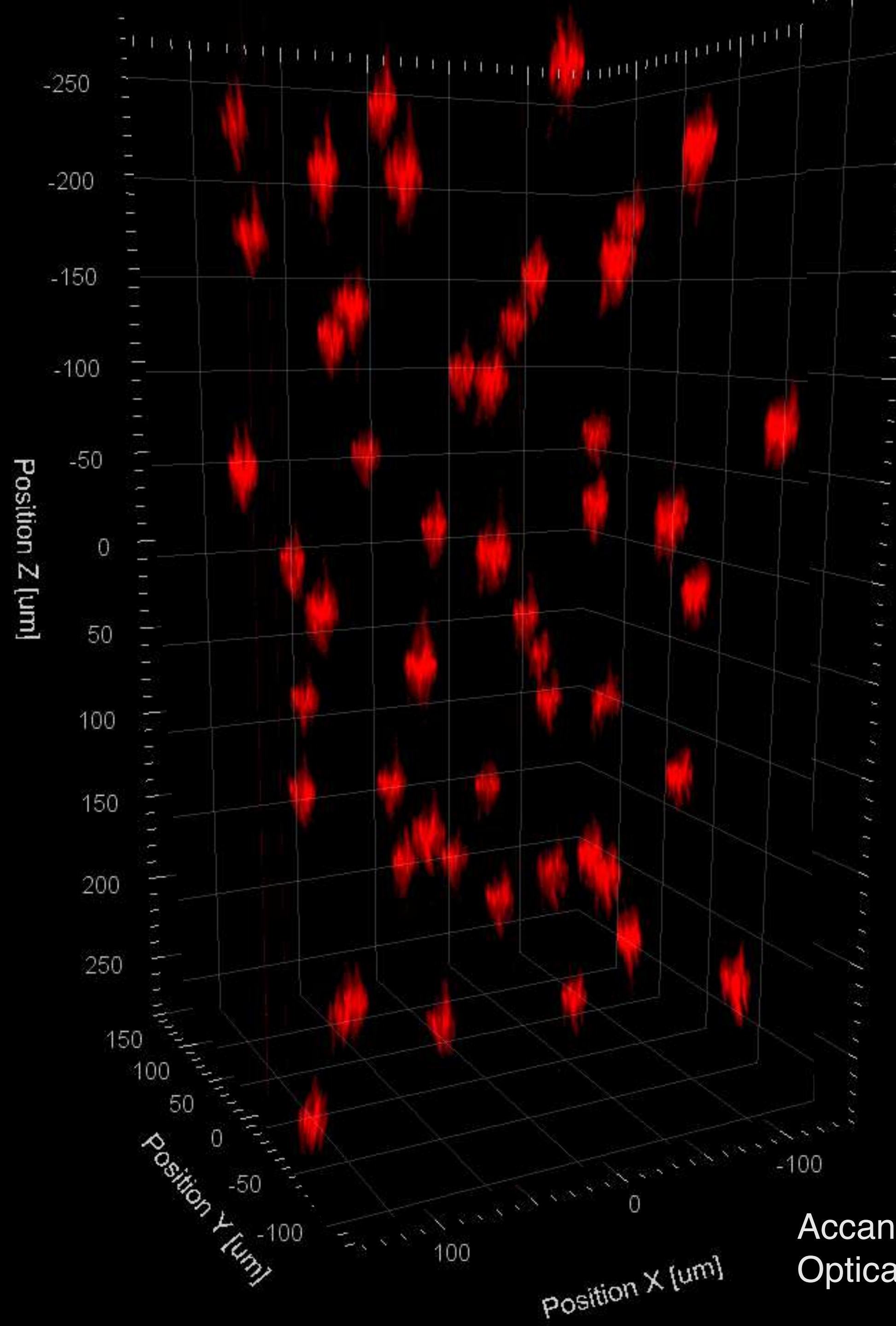
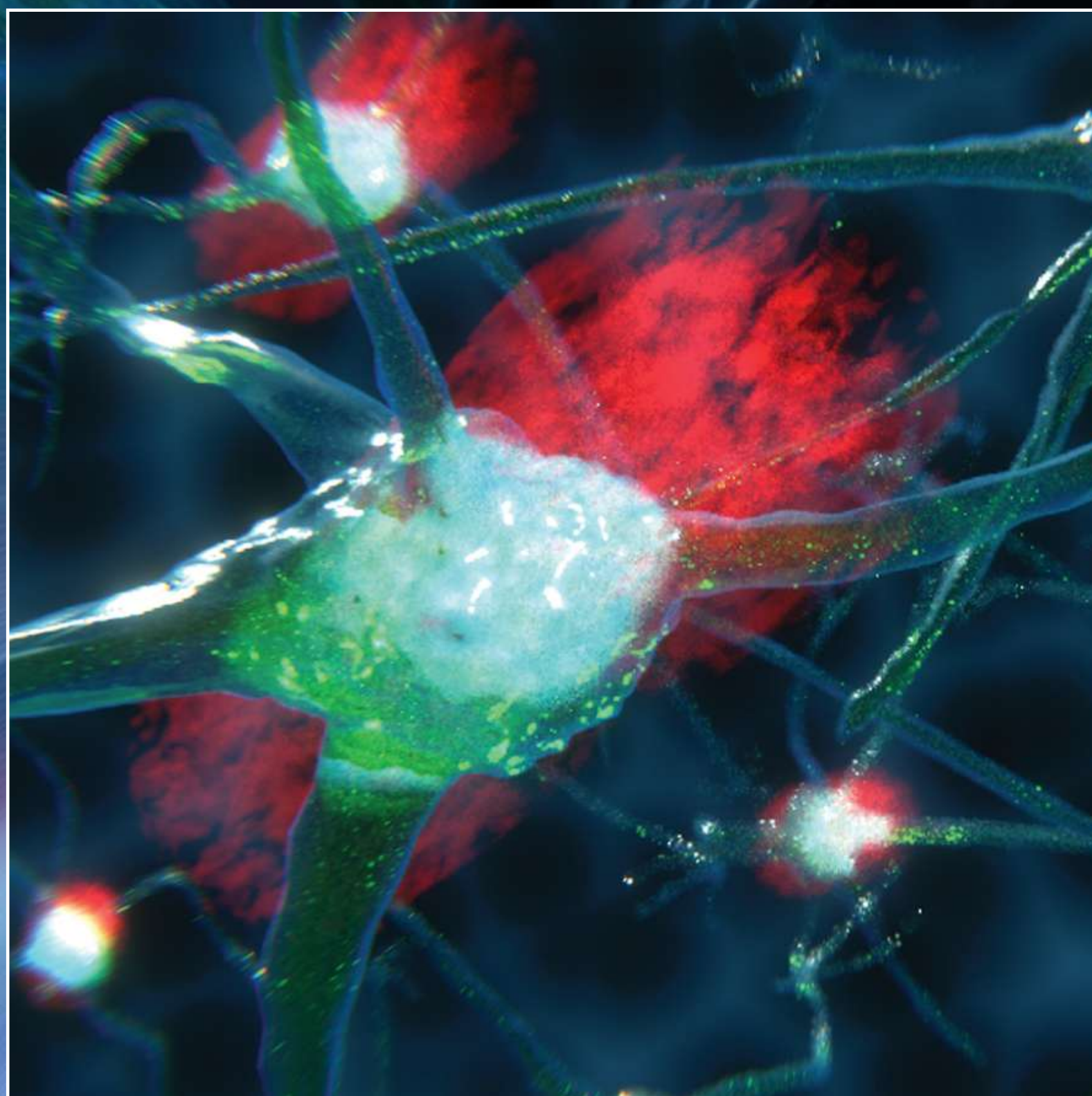


Oron et al. Opt. Express (2005)  
Zhu et al. Opt. Express (2005)



# optica

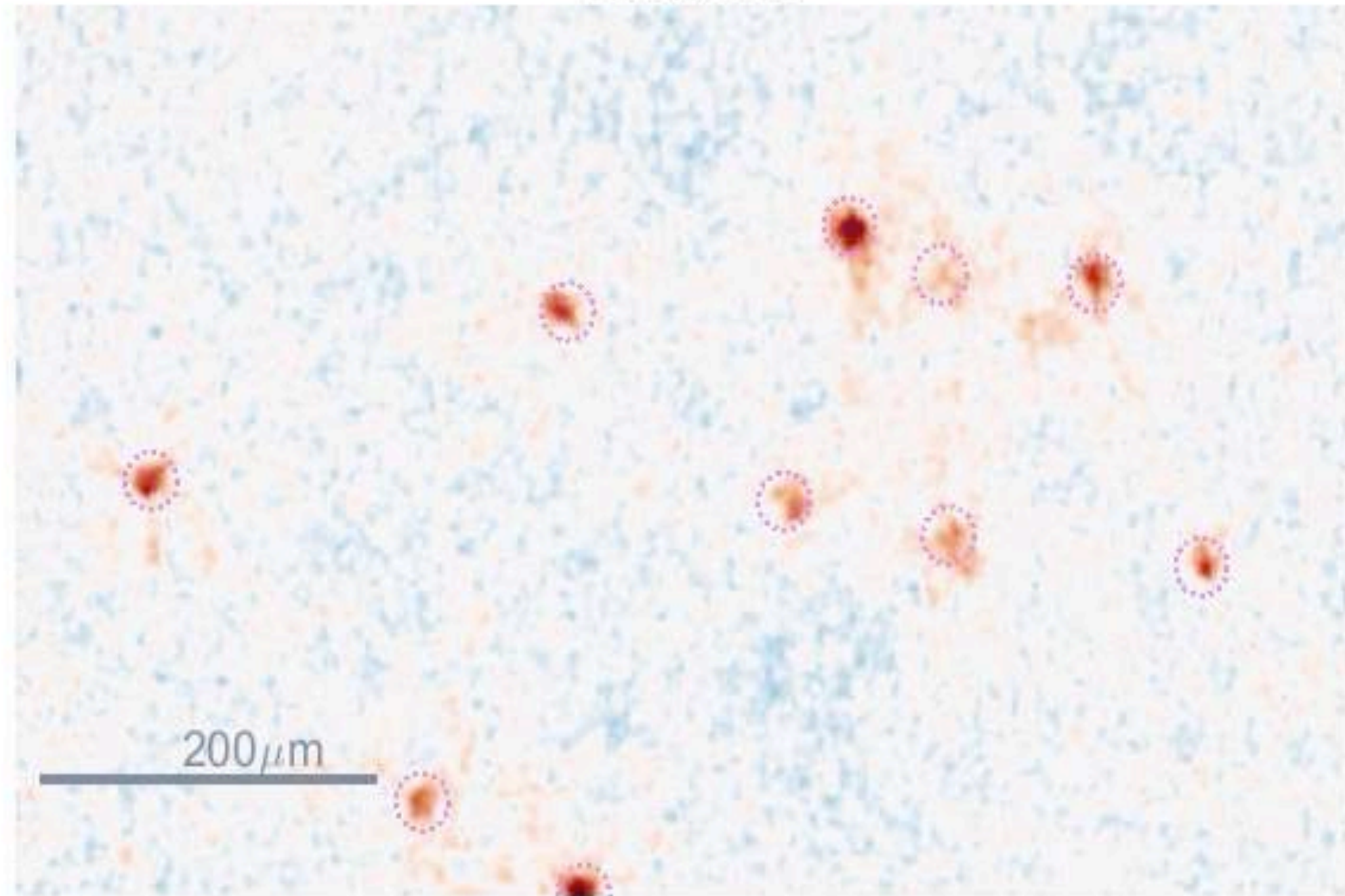
Volume 5 • Issue 11 • November 2018



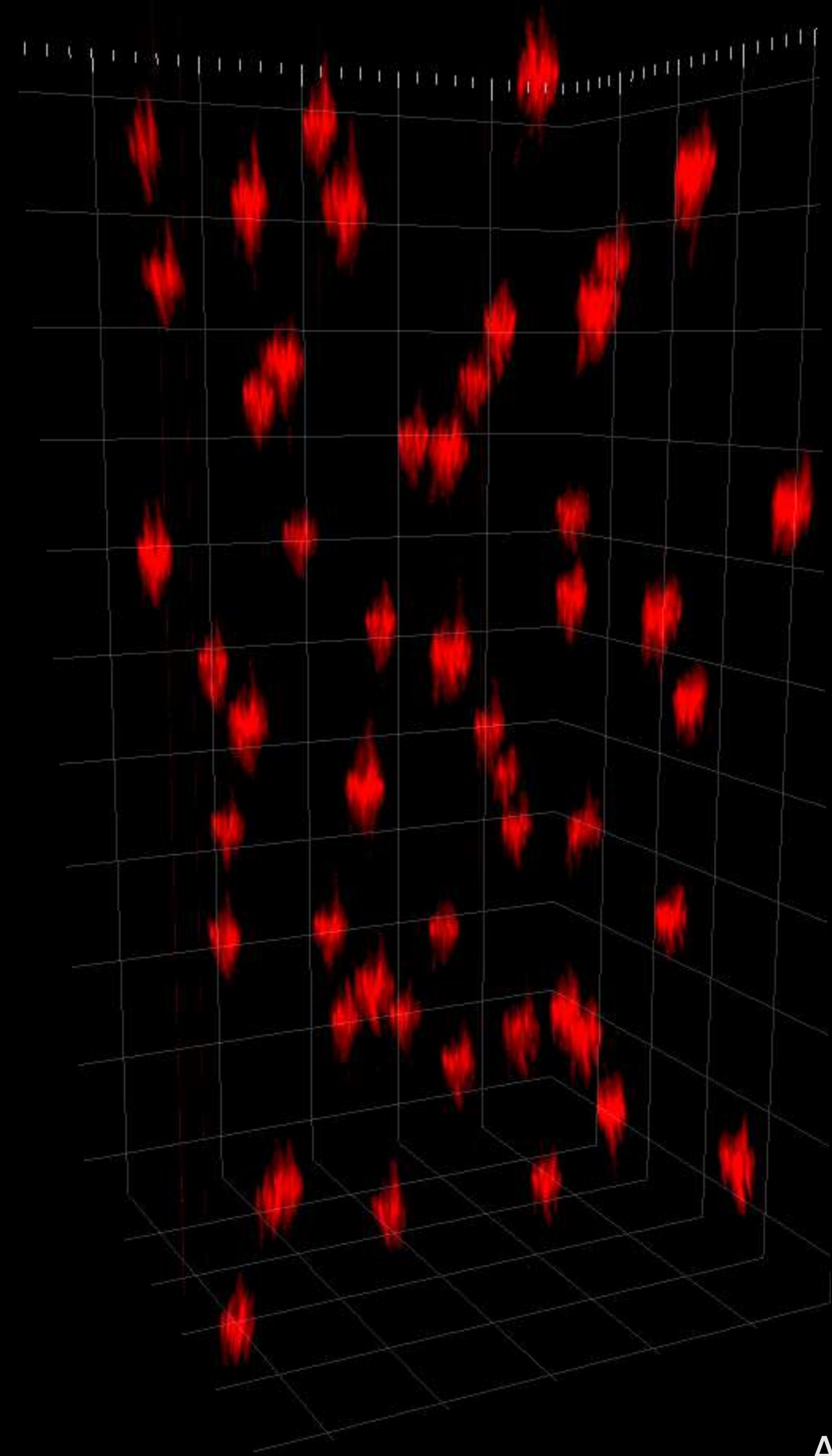


Hillel Adesnik Lab

Stimulus : 23



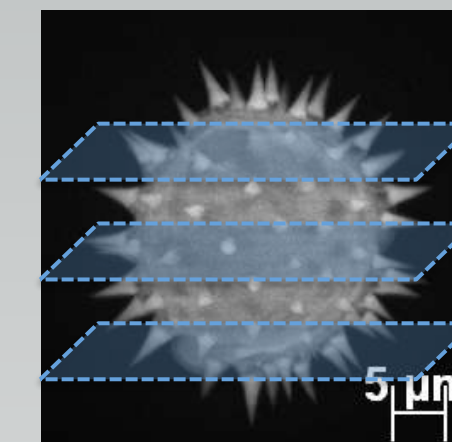
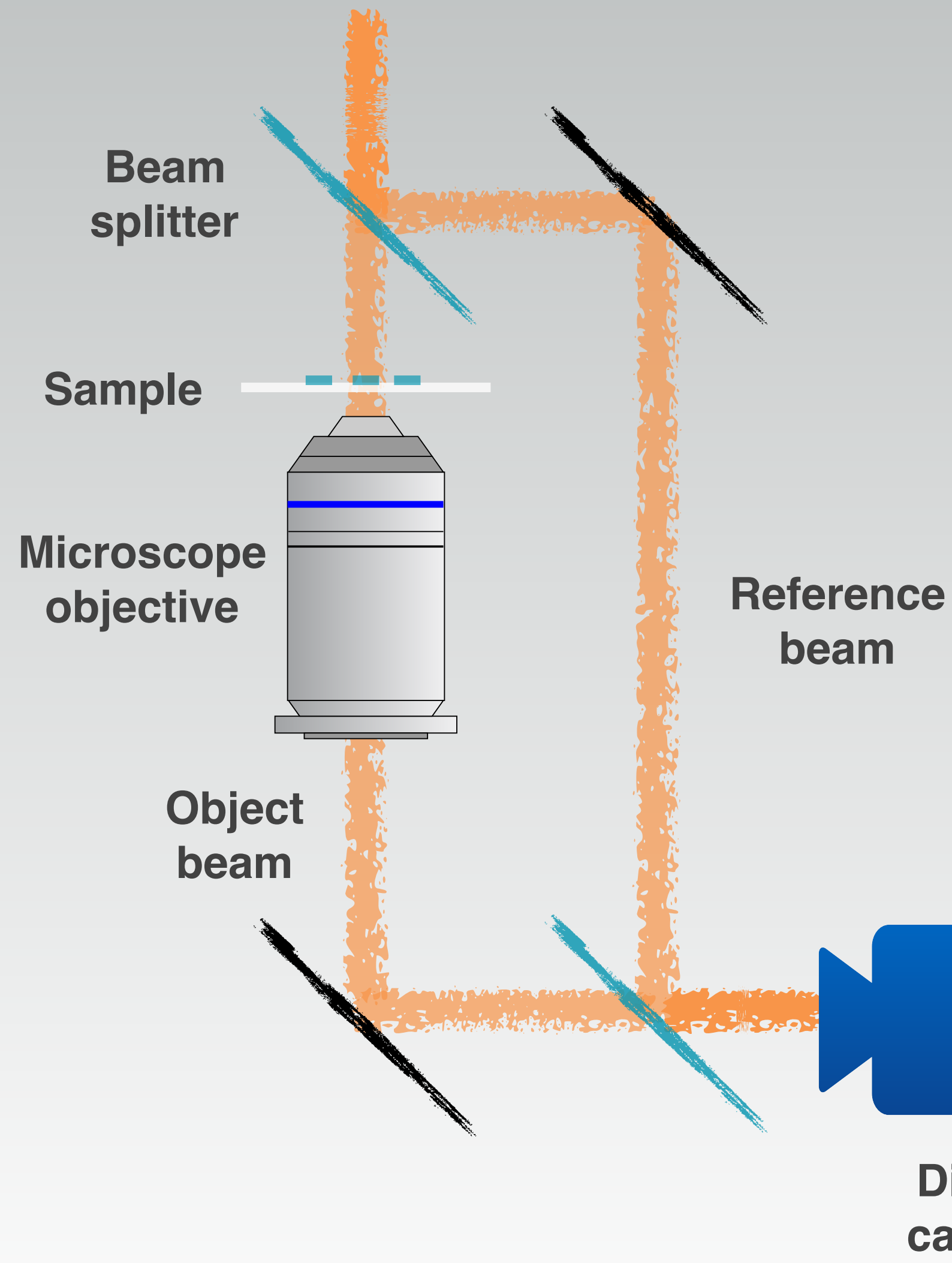
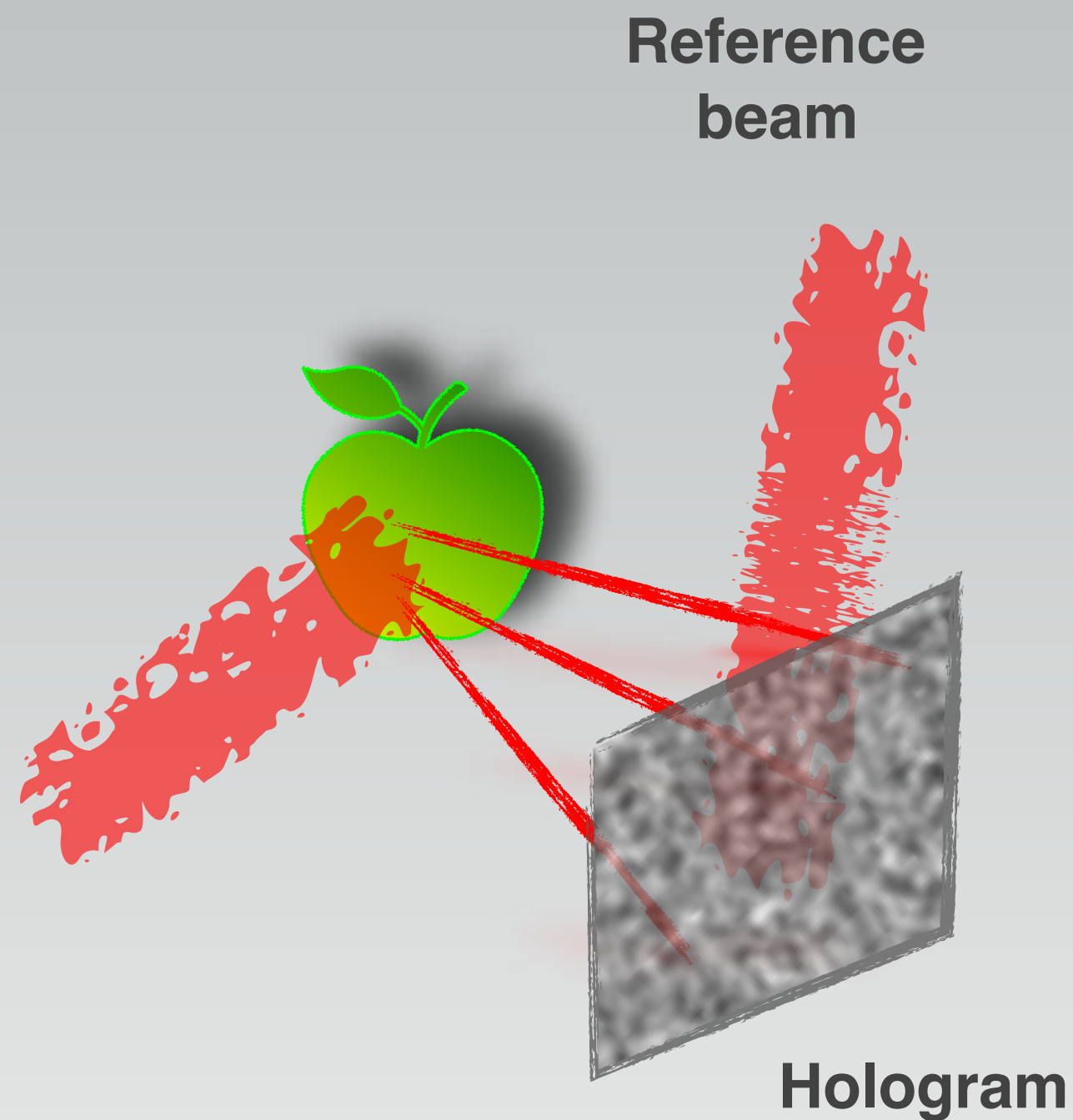
**La strada è aperta per uno studio  
olografico preciso di circuiti  
neuronal complessi.**



Accanto, Molinier et al.  
Optica (2018)



# Da analogico a digitale: microscopia olografica



Computational reconstruction of the object at different planes

L'ologramma registra le proprietà di fase e tridimensionali dell'oggetto

Idea: interpretare l'ologramma senza bisogno di ricostruirlo

**Microscopia olografica digitale**

Digital camera

Recorded hologram

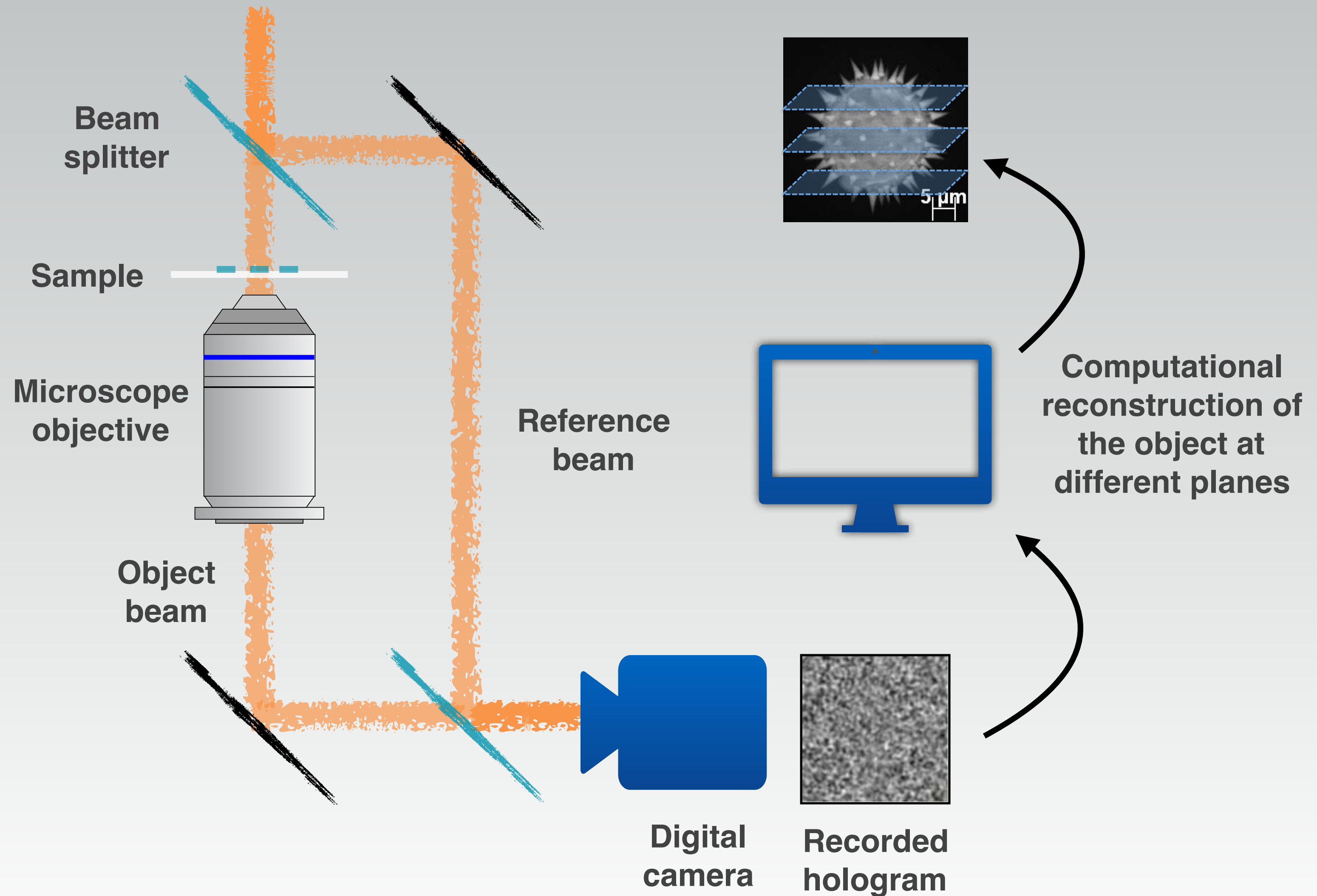


# Microscopia olografica digitale: un microscopio + un software

## Vantaggi principali:

Accesso a differenti piani senza muovere l'obiettivo. Utile per visualizzare campioni in 3D e per seguire particelle in moto Browniano

Osservazione di campioni trasparenti (come cellule) senza bisogno di colorazioni artificiali

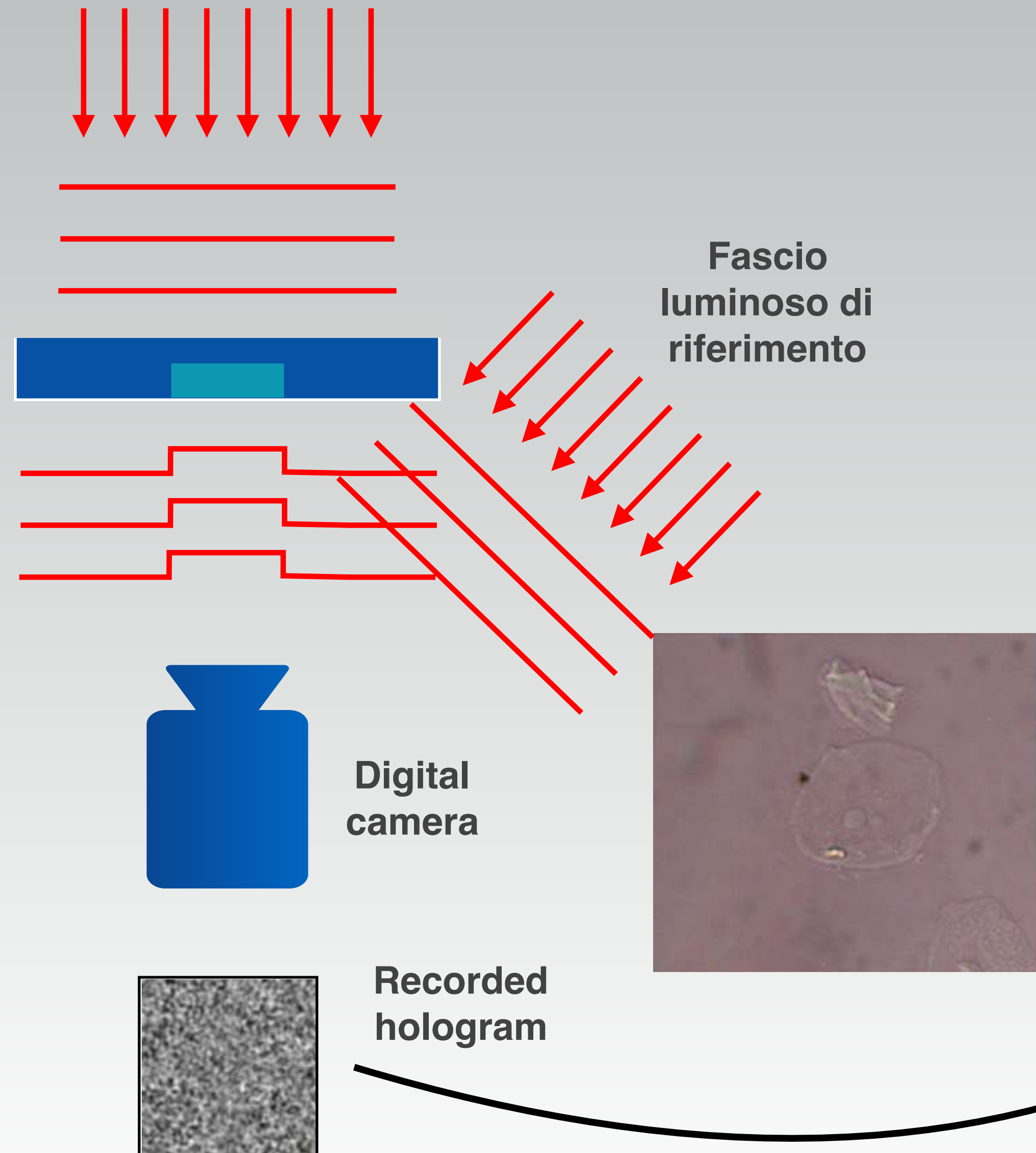




# Osservazione di campioni trasparenti: misurare la fase

Campione trasparente, esempio cellula in acqua, non c'è assorbimento, **solo cambio fase**

Come sappiamo, le camere che abbiamo non possono misurare la fase di un'onda direttamente



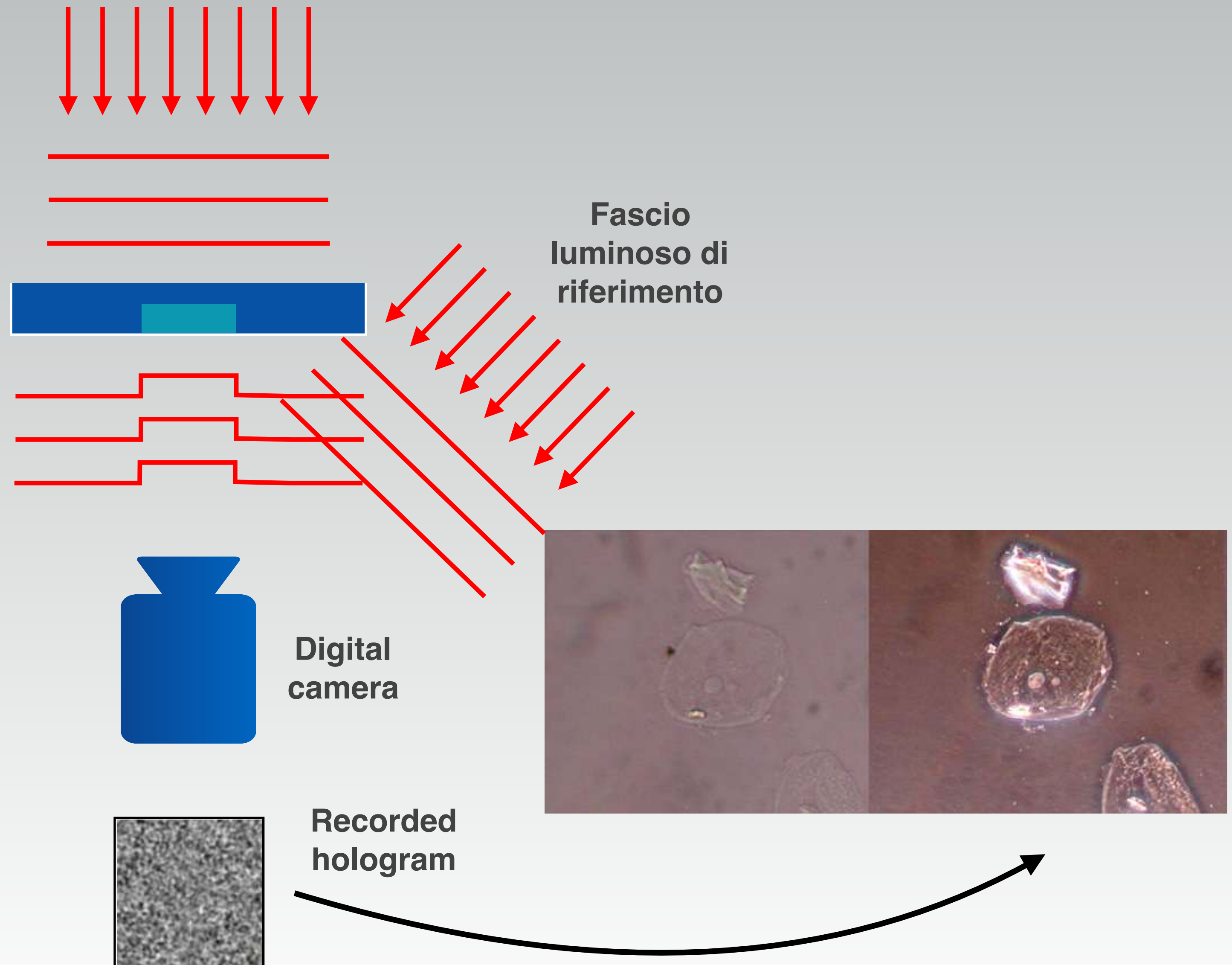


# Osservazione di campioni trasparenti: misurare la fase

Campione trasparente, esempio cellula in acqua, non c'è assorbimento, **solo cambio fase**

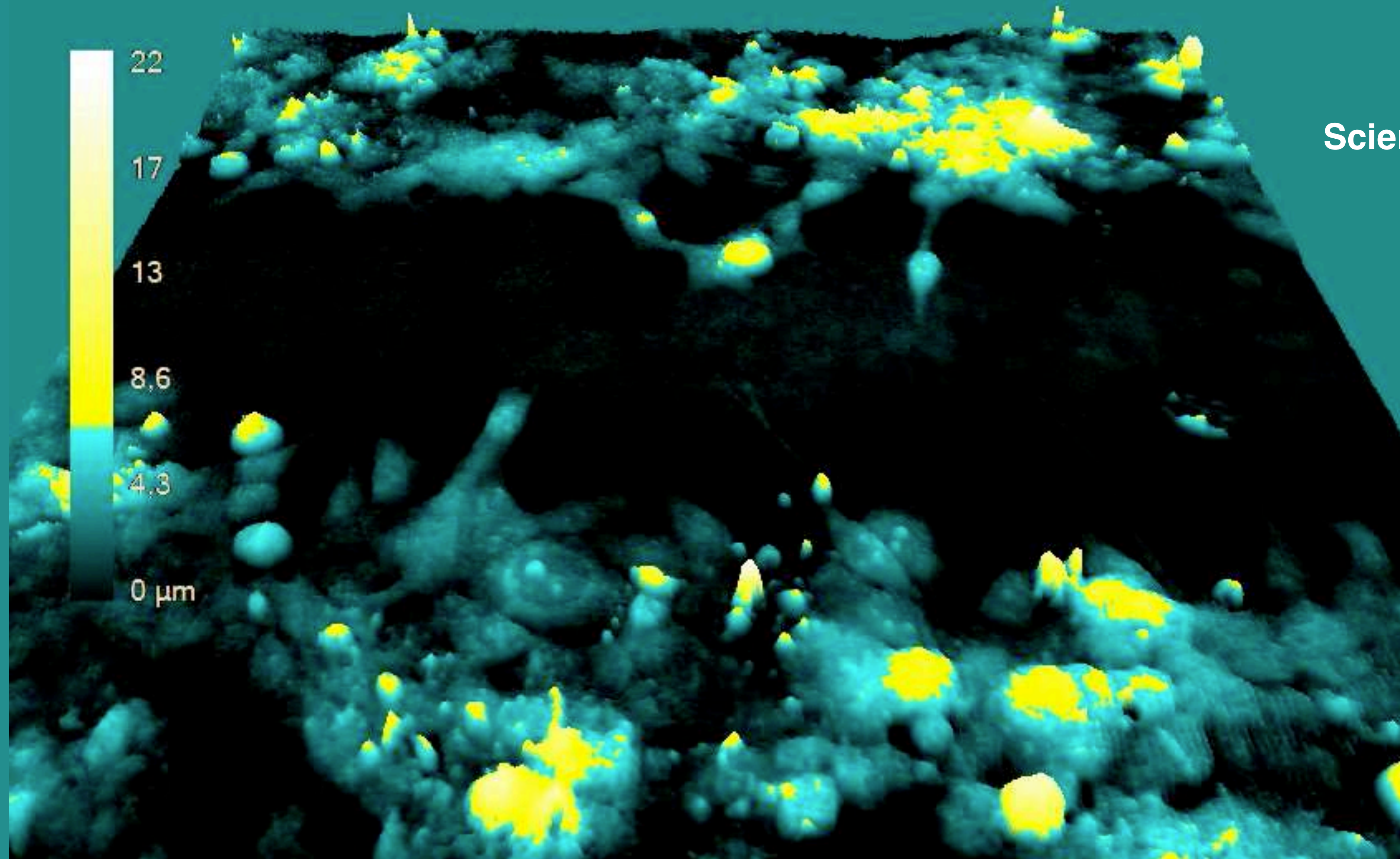
Come sappiamo, le camere che abbiamo non possono misurare la fase di un'onda direttamente

L'olografia dà la possibilità di misurare quantitativamente la fase





# Holographic microscopy of cells healing a wound



Hellesvik et al.  
Scientific Reports (2020)



# Olografia generata da computer per la fotostimolazione optogenetica

Usando un SLM possiamo modificare a piacere la propagazione laser, scala di tempo 10 ms

Con l'optogenetica è possibile attivare i neuroni che esprimono opsina con la luce: fotostimolazione

La fotostimolazione olografica permette di attivare N neuroni con grande precisione spazio-temporale

## Microscopia olografica digitale

Con ologramma digitale + algoritmo possiamo calcolare le proprietà del campione su vari piani

Si possono osservare quantitativamente campioni trasparenti, es. cellule -> immagini di fase

Osservazione possibile di particelle in moto browniano o cellule in fase di migrazione



# Thank you

Wavefront engineering microscopy group:

**Clement Molinier**

**Dimitrii Tanese**

**Emiliano Ronzitti**

**I-Wen Chen**

**Eirini Papagiakoumou**

**Chrisophe Tourain**

**Valentina Emiliani**

