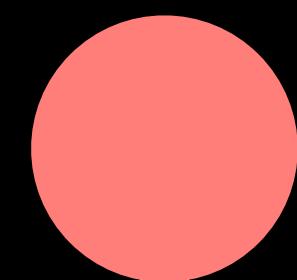


Il Naso Elettronico

Come un olfatto digitale potrebbe cambiare il mondo

Pietro Miotto
Luca Trabace
Davide Valente
Massimo Saia



Il sistema olfattivo umano



Cos'è un naso elettronico

Algoritmi di pattern matching

Costruire un naso elettronico

Cos'è un odore?

Odore /o·dó·re/

«La **manifestazione**, percepita
tramite il naso,
di una **molecola** di tipo **odoroso**»

La **caratteristica odorosa**
delle molecole è data dagli **osmofori**

strutture chimiche

gruppi funzionali



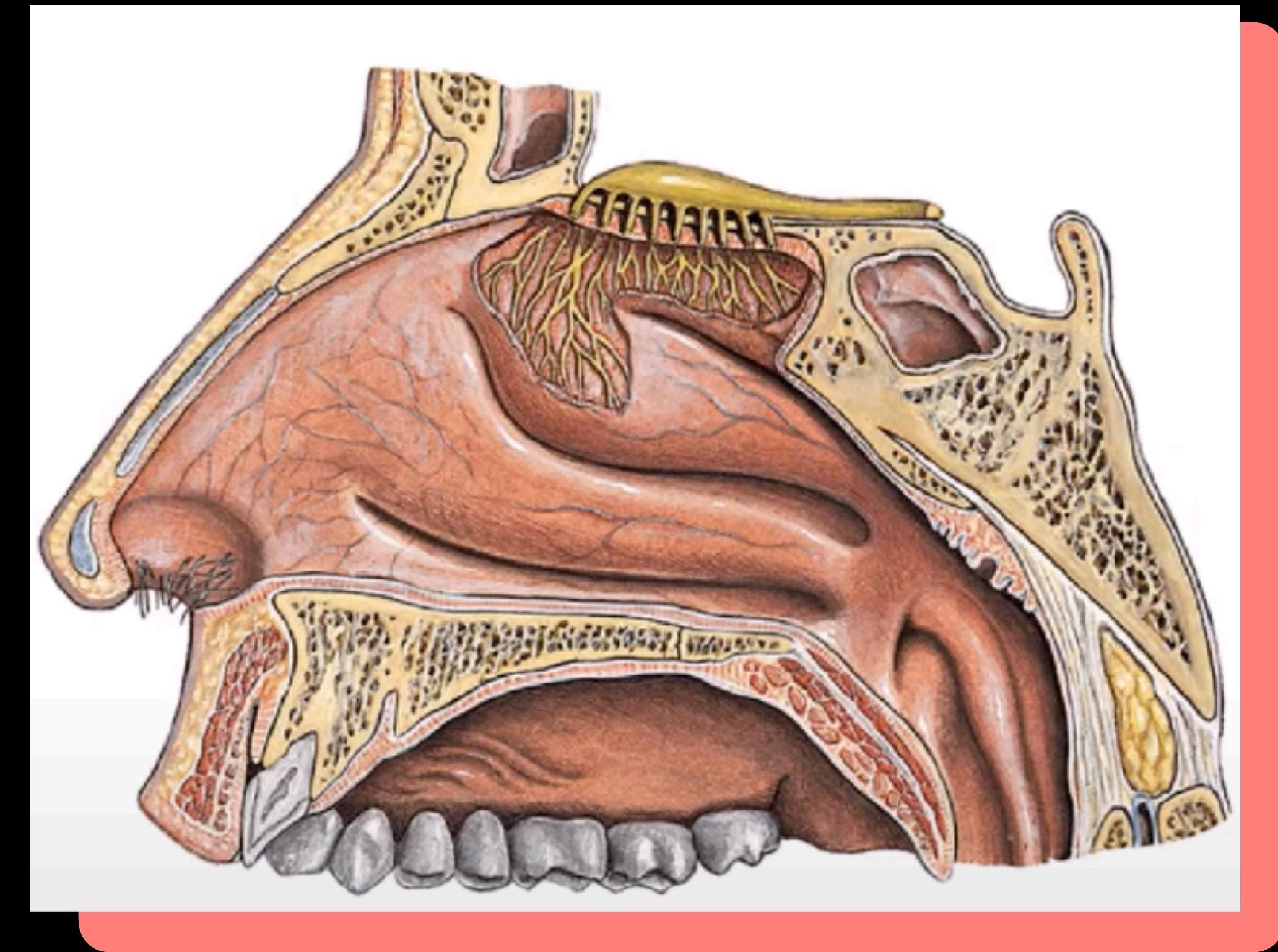
Sistema olfattivo

- Il sistema olfattivo rappresenta l'insieme di meccanismi e componenti biologiche che permettono la percezione di concentrazione, qualità e identità delle molecole odorose



La Mucosa Olfattiva

- La mucosa olfattiva umana (o epitelio olfattivo) è larga appena **5cm²**
- È situata nella **volta della cavità nasale** e a ricoprire il **turbanato inferiore e superiore**



La Mucosa Olfattiva

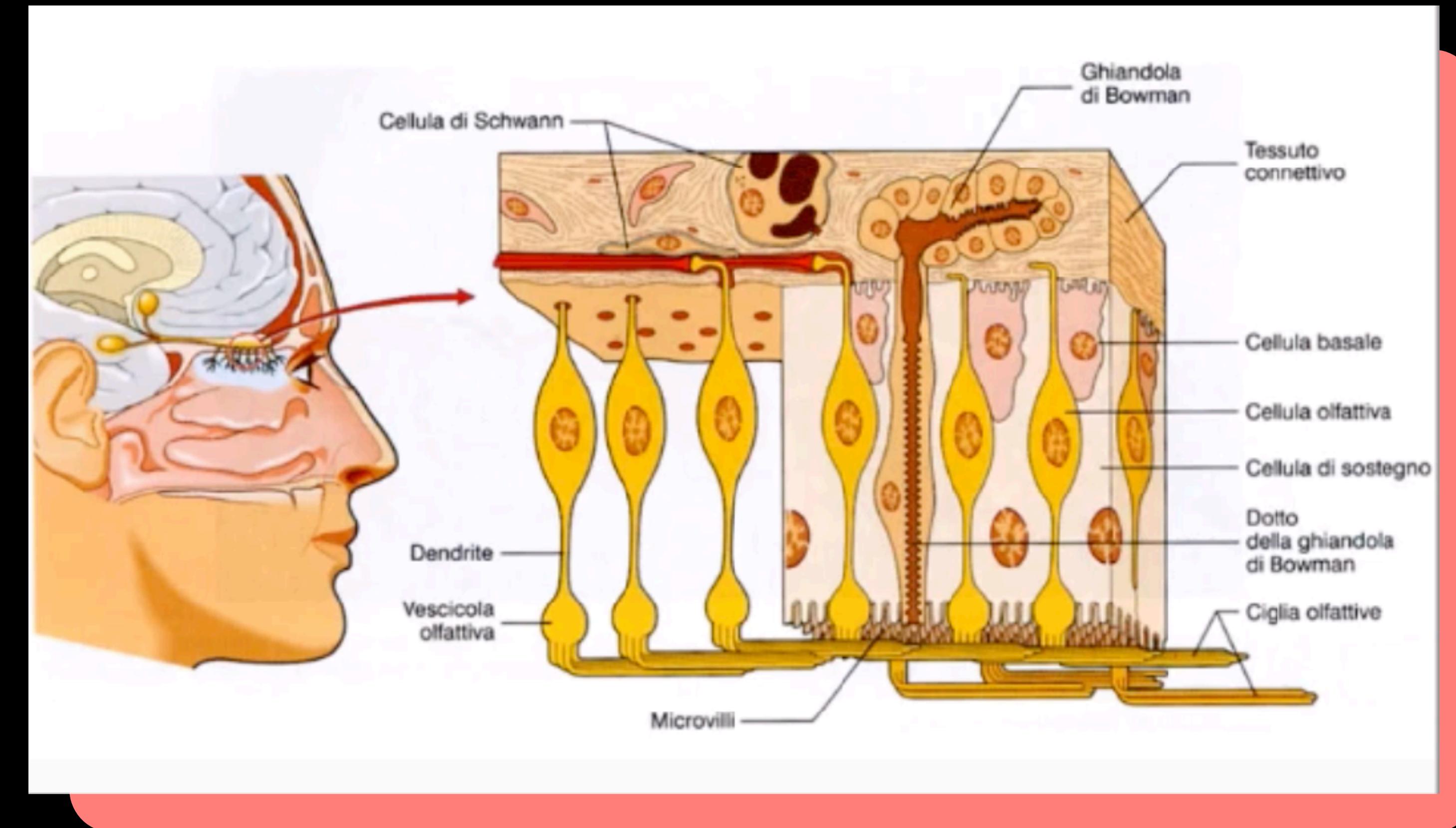
La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

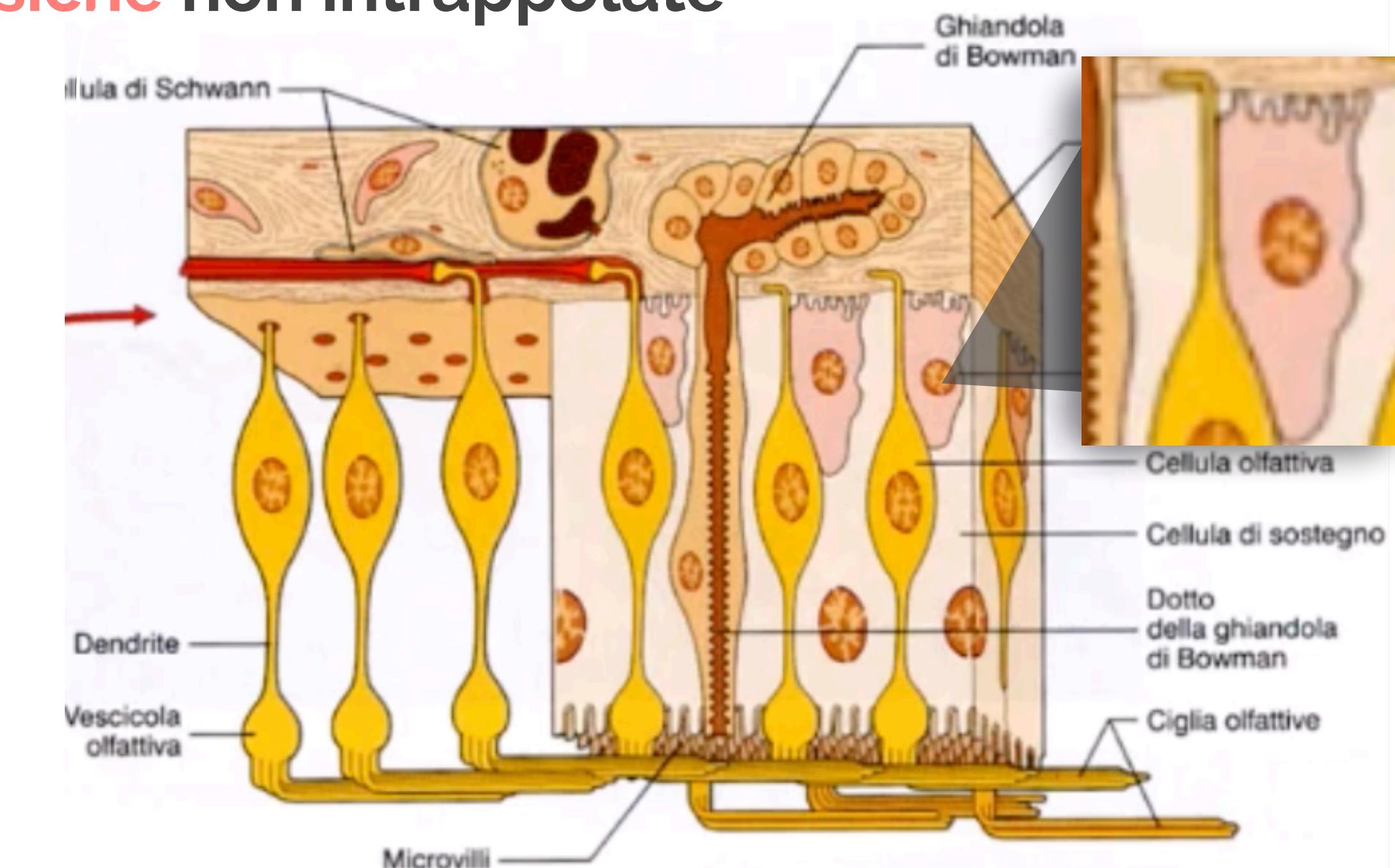
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

Cellula Basale

La cellula basale è una **cellula staminale** che:

- si ricambia ogni **40 giorni**
- È l'unica staminale a differenziarsi in un neurone
- ricambio costante dovuto a **irritanti e sostanze tossiche non intrappolate**



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

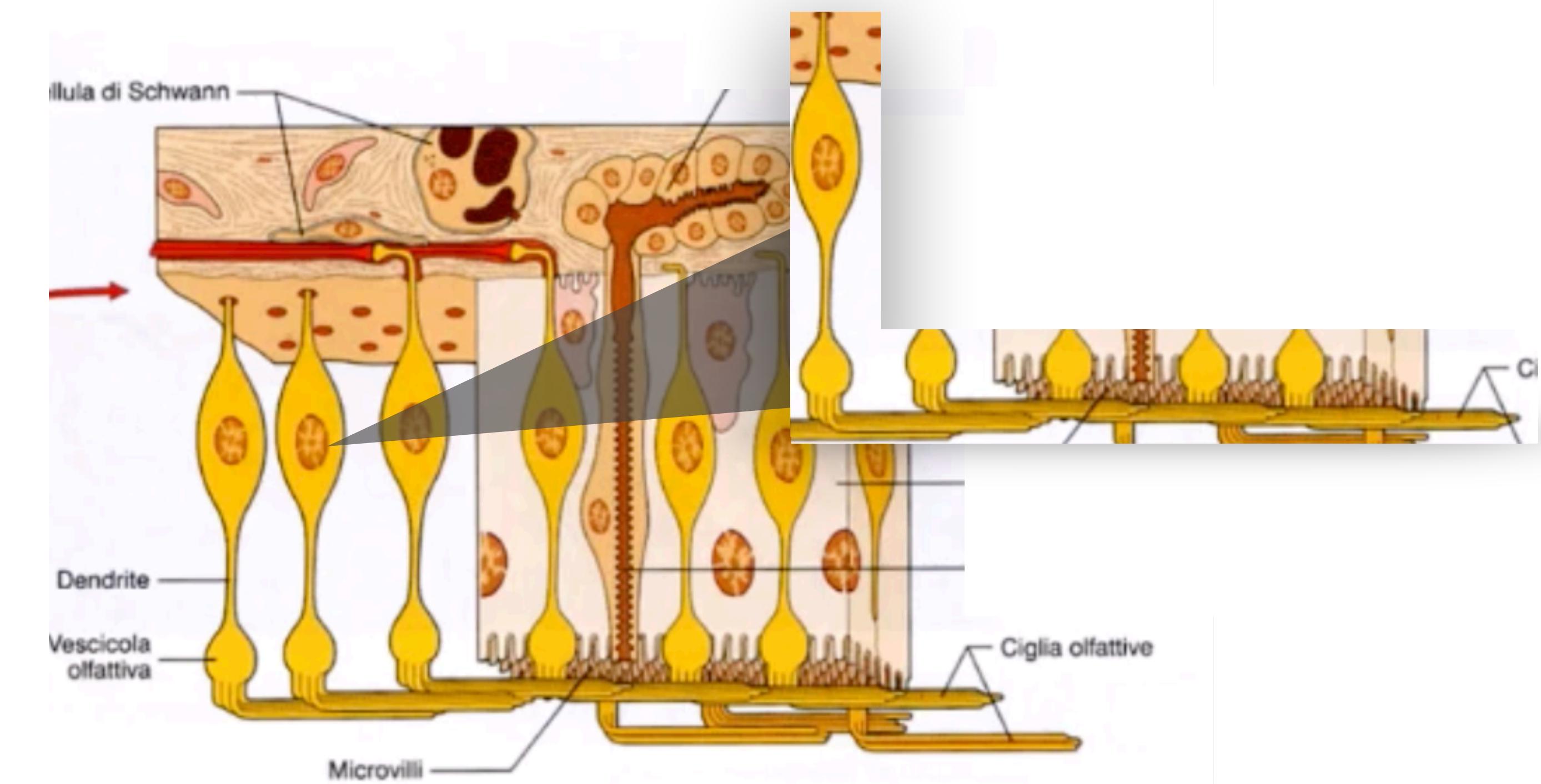
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

Cellula olfattiva

La cellula olfattiva è un **neurone**

- È una **cellula bipolare** (due soli neuriti)
- il dendrite si aggancia ad una **vescicola olfattiva**, dalla quale si diramano le **ciglia olfattive**



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

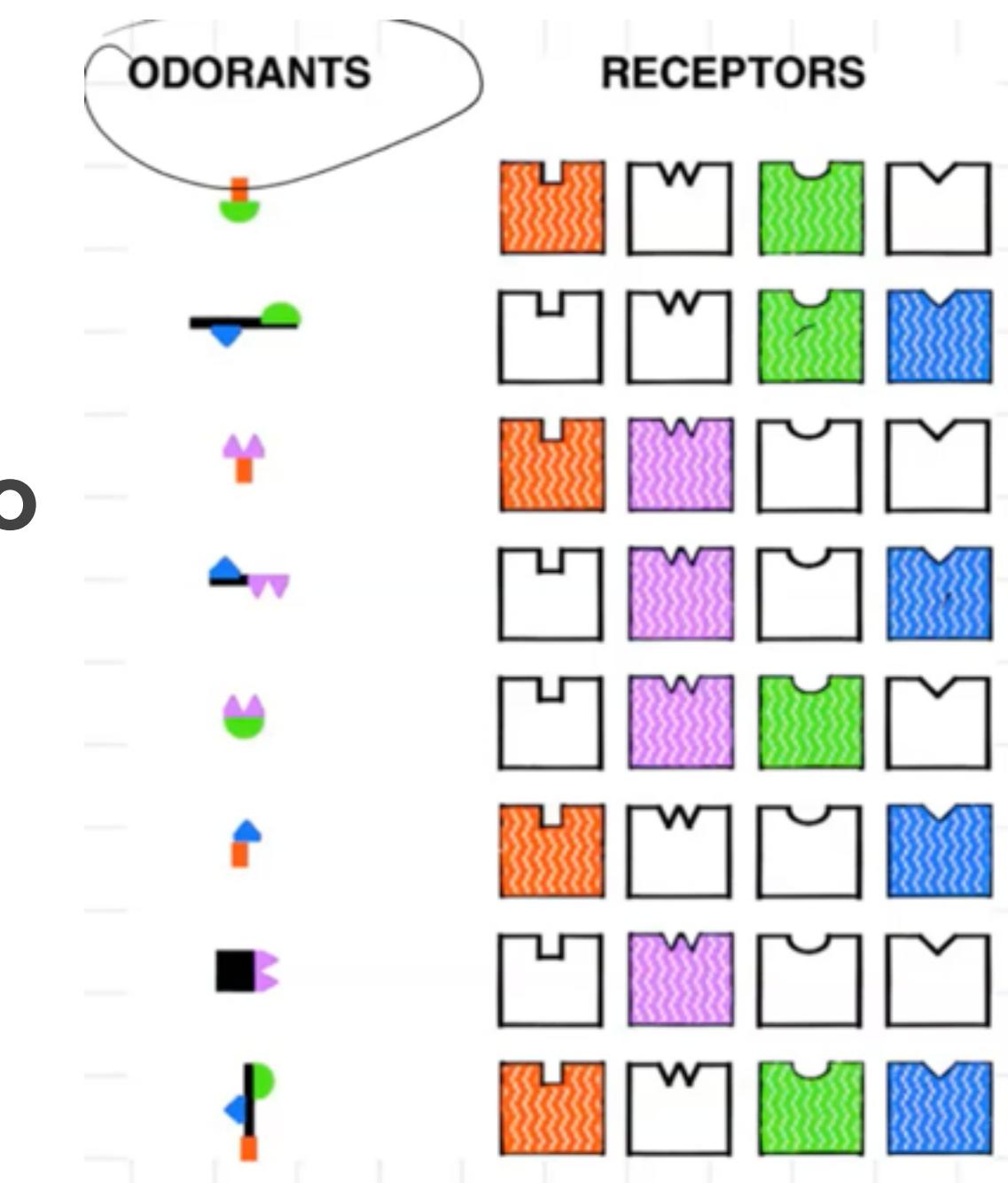
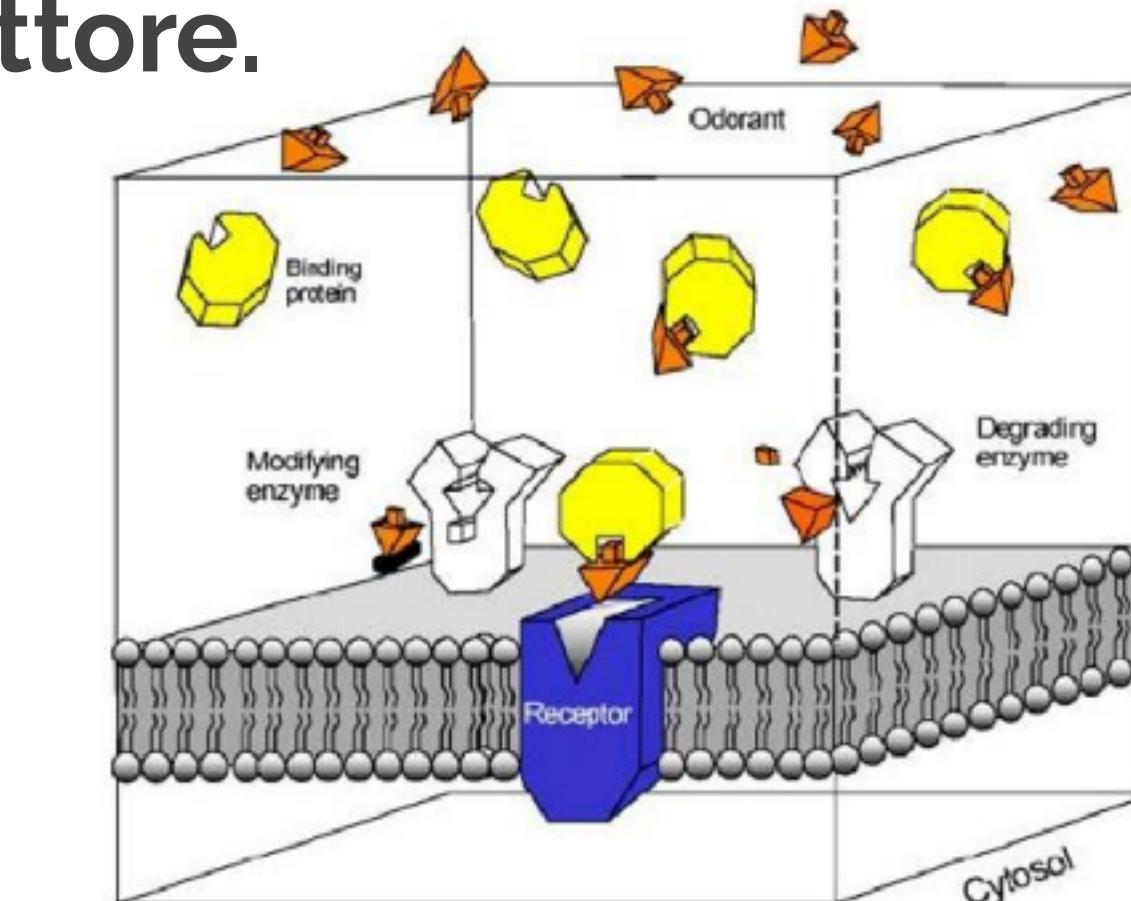
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

I recettori olfattivi

Le ciglia esprimono dei **recettori**

- Approfonditi da Axel e Buck (1991)
- Proteine extracellulari appartenenti ad un gruppo di macroproteine codificate da macrofamiglia multigenica (3% dei geni)
- Ogni neurone esprime un solo recettore. Un recettore è sensibile a più sostanze. Più neuroni esprimono lo stesso tipo di recettore.



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

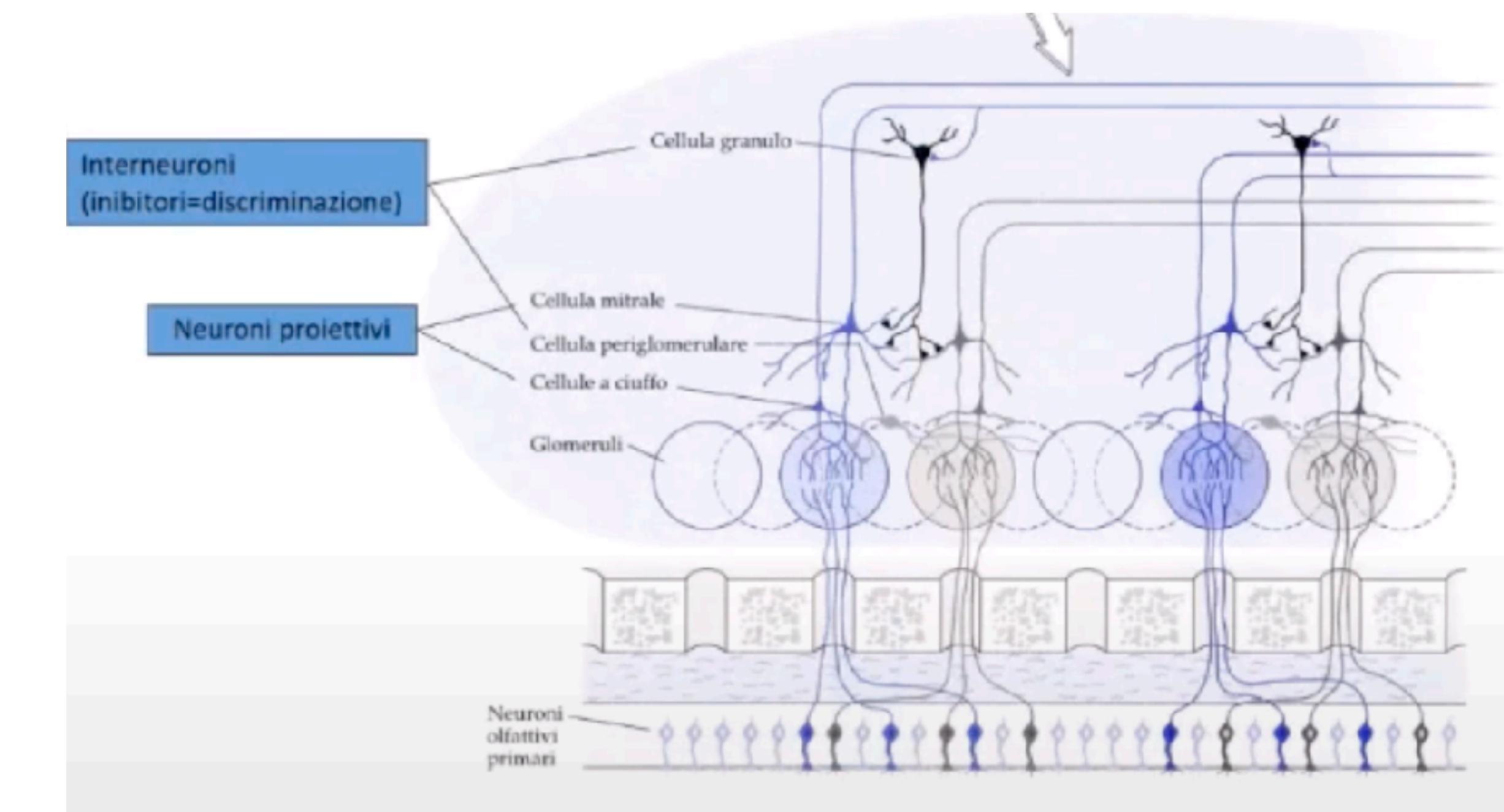
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

La terminazione assonale

L'altra estremità dei neuroni, l'**assone**:

- Attraversa la **lamina cribrosa** ed entrano nel **bulbo**.
- I neuroni secondari e gli assoni dei neuroni primari **con stesso recettore** si aggregano nei **glomeruli**
- **glomeruli ordinati, neuroni non ordinati**



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

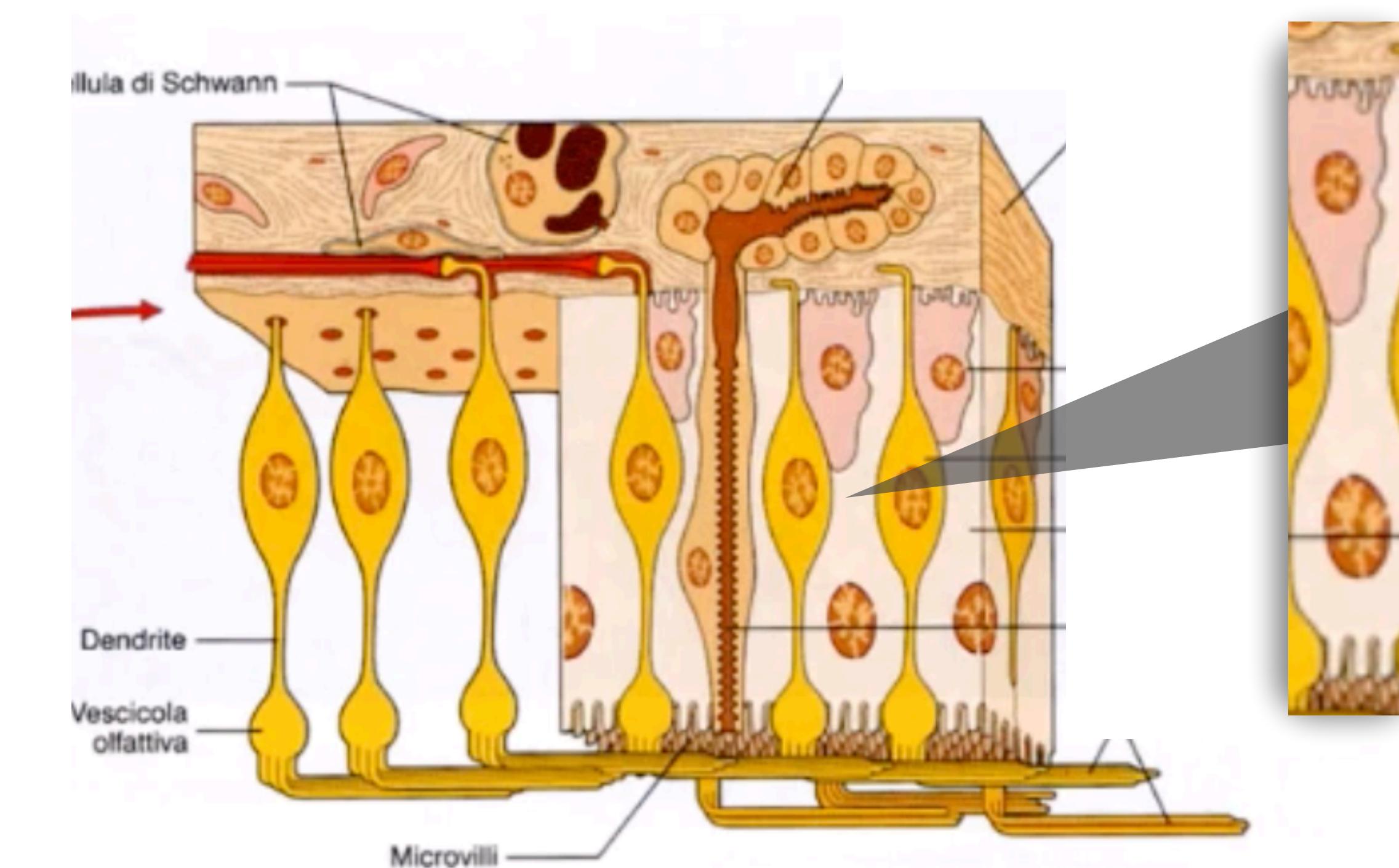
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

Cellula di Sostegno

La cellula di sostegno:

- funge da **separatore**
- ha funzione **protettiva**
- riassorbe sostanze in eccesso (**microvilli**)



La Mucosa Olfattiva

La mucosa olfattiva
è composta da:

cellula basale

cellula olfattiva

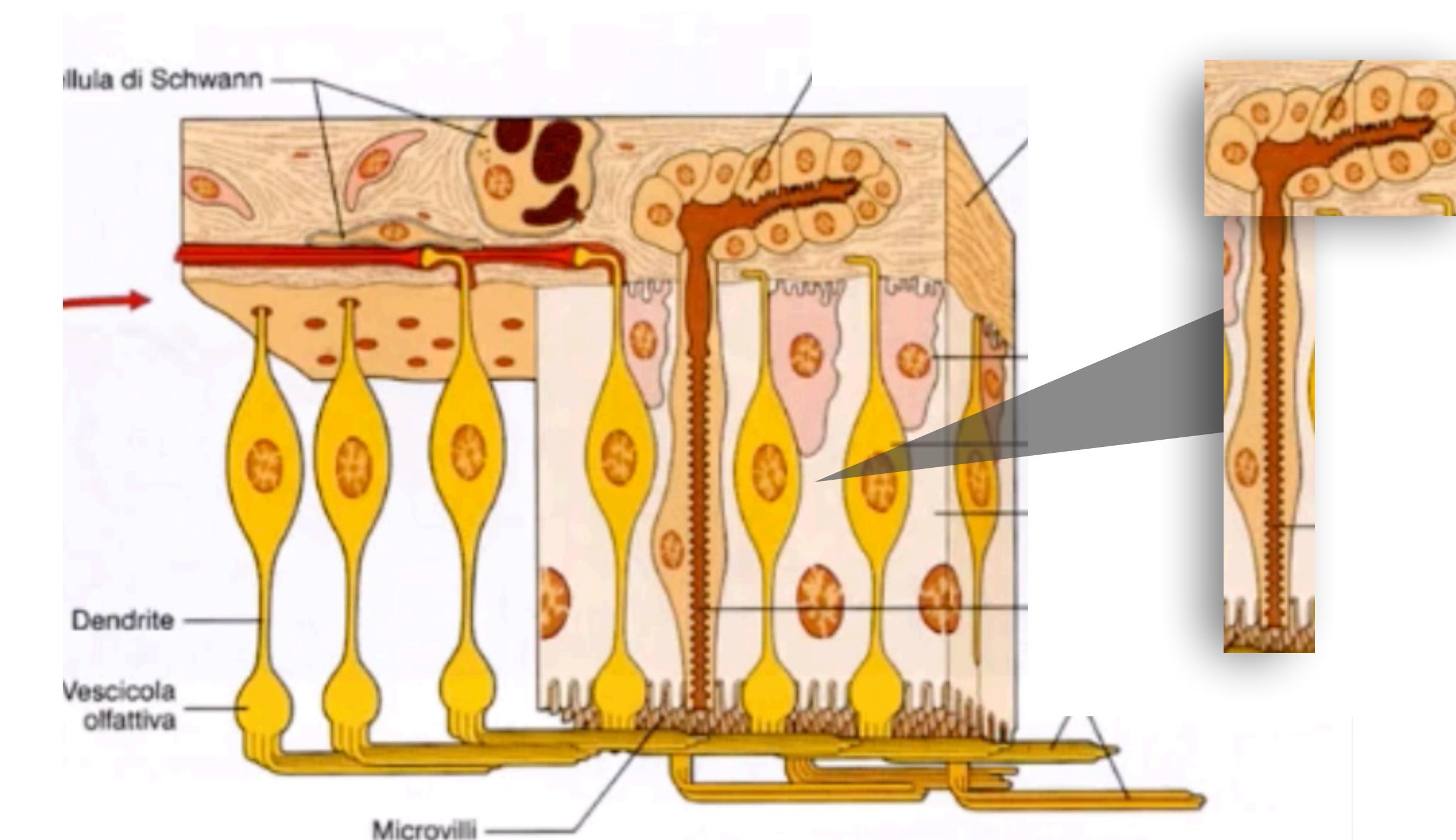
cellula di sostegno

Ghiandole di Bowman

Ghiandole di Bowman

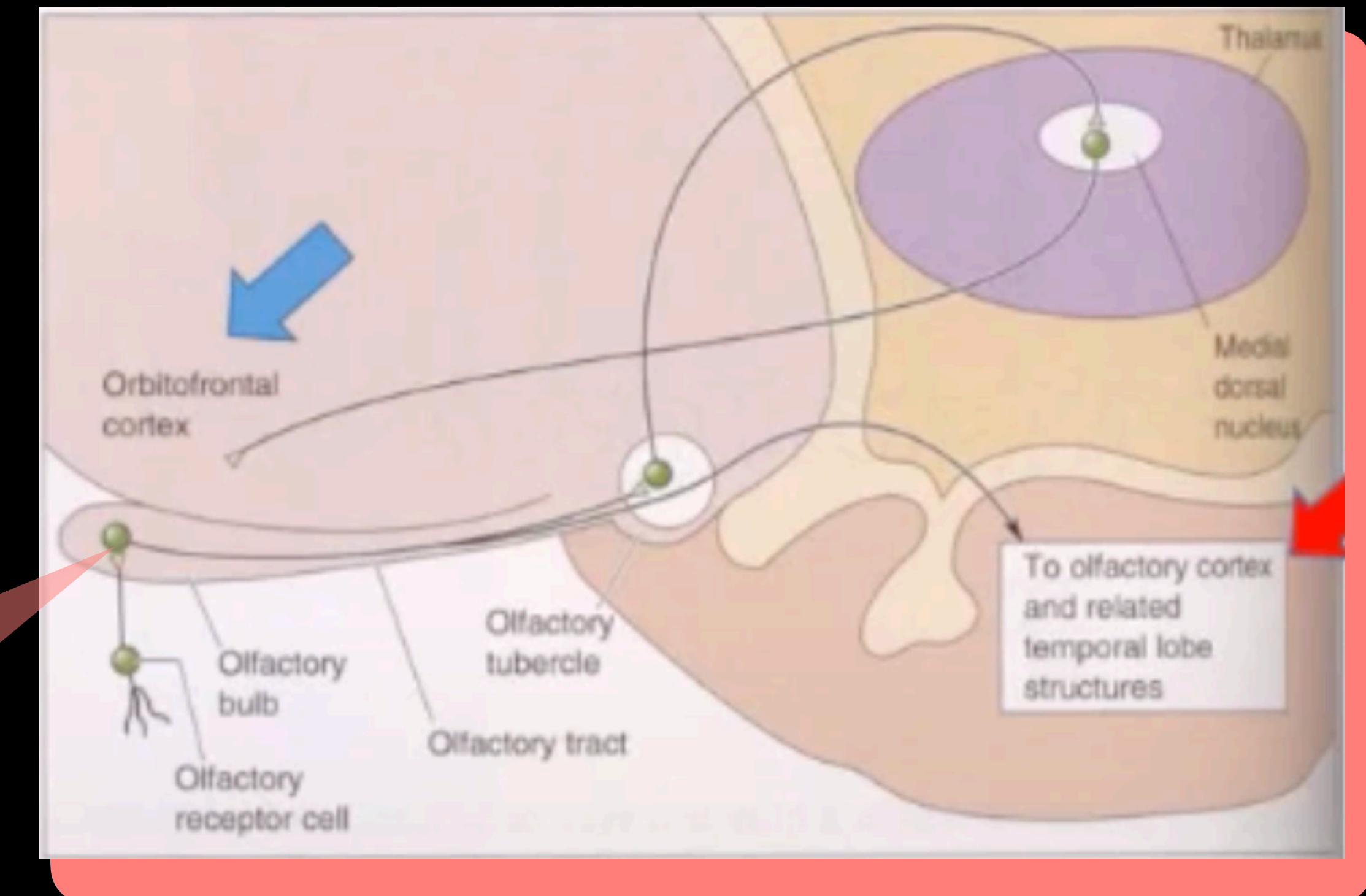
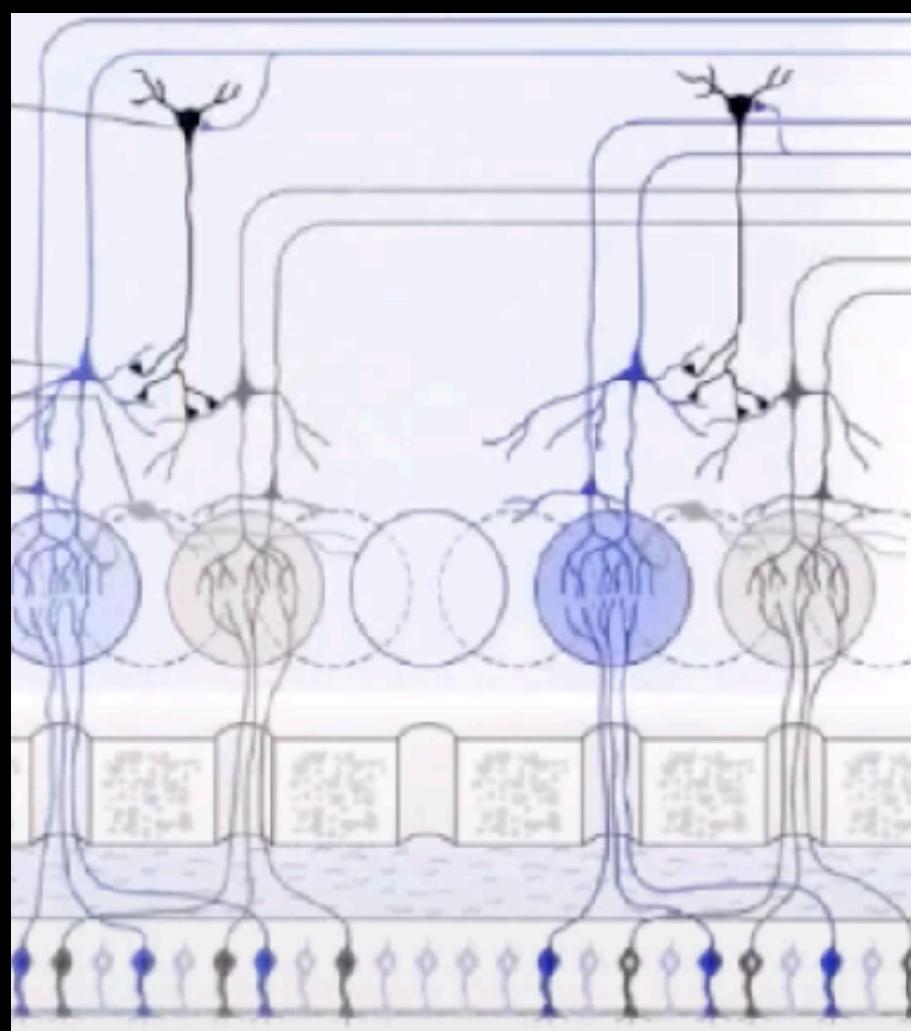
Le ghiandole di Bowman:

- Fa sciogliere le molecole odorose
- disperde le molecole
- es. caffè



Il tratto olfattivo

- L'uomo ha due “vie” olfattive:
 - Via della percezione cosciente: intermediate dal talamo, le informazioni raggiungono la corteccia orbitofrontale
 - Via della percezione incosciente/affettiva: diretta, conduce alla corteccia olfattiva



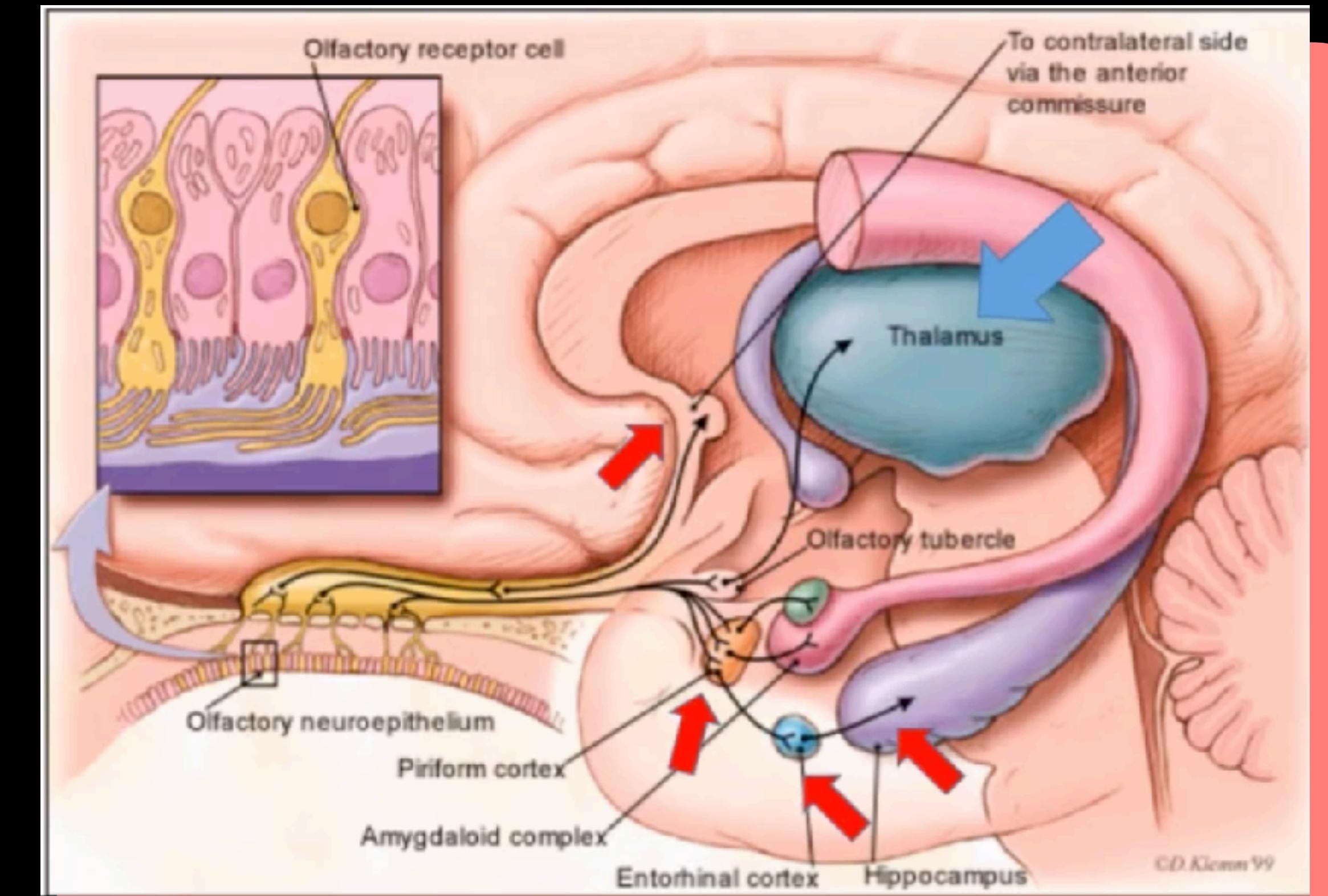
Il sistema limbico

- La via olfattiva inconscia si collega al **paleocortex** (parte **ancestrale** del cervello) volta alla gestione delle **necessità primarie** del corpo

amigdala

ipotalamo

ippocampo



- Componente di soggettività non trascurabile

La Teoria dei Pattern

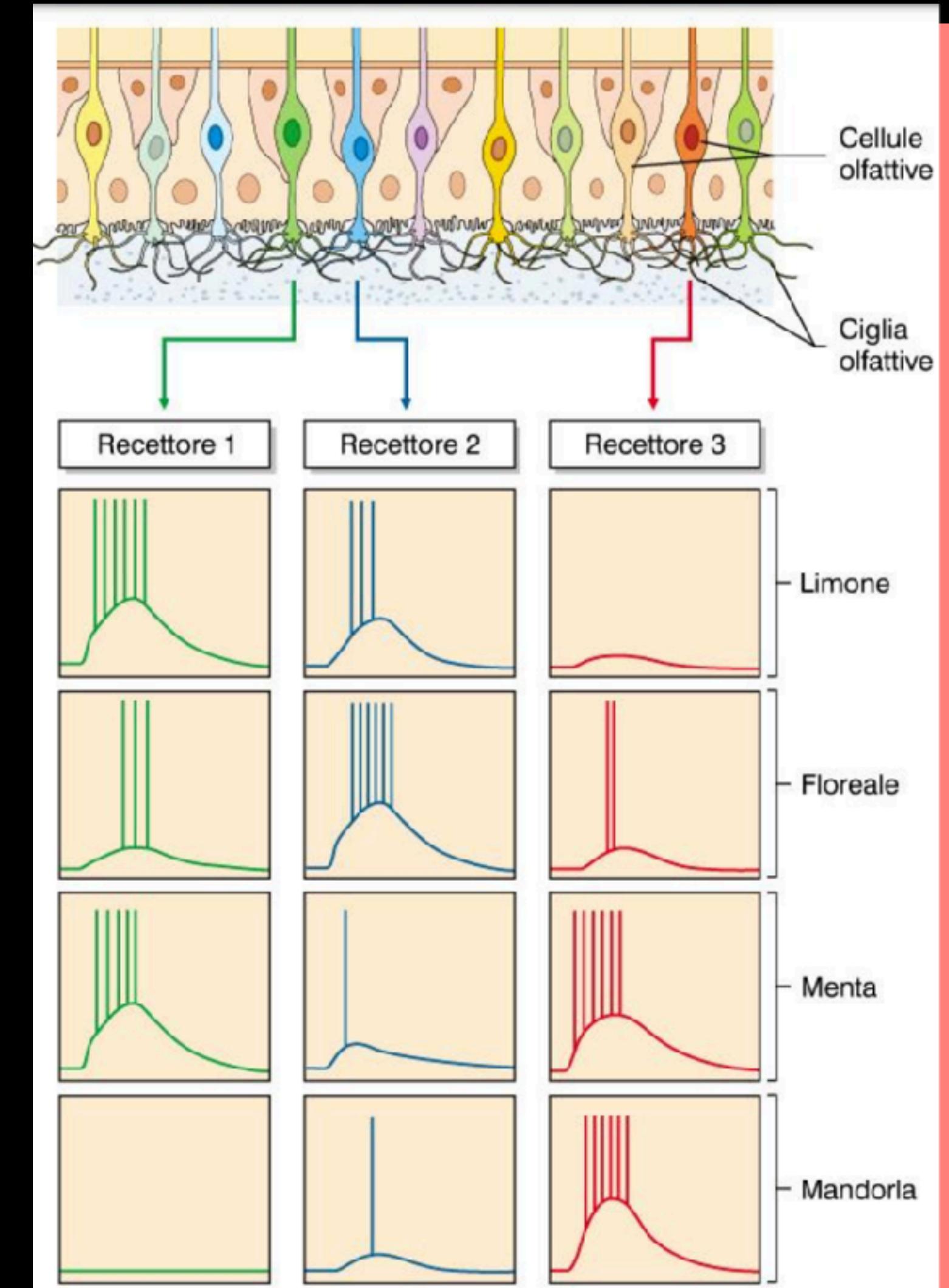
- Il cervello guarda alla combinazione (o pattern) dei glomeruli attivati e, in funzione di precedenti esperienze multisensoriale, interpreta gli odori.

- Nell'interpretazione degli odori influiscono:

fattori soggettivi

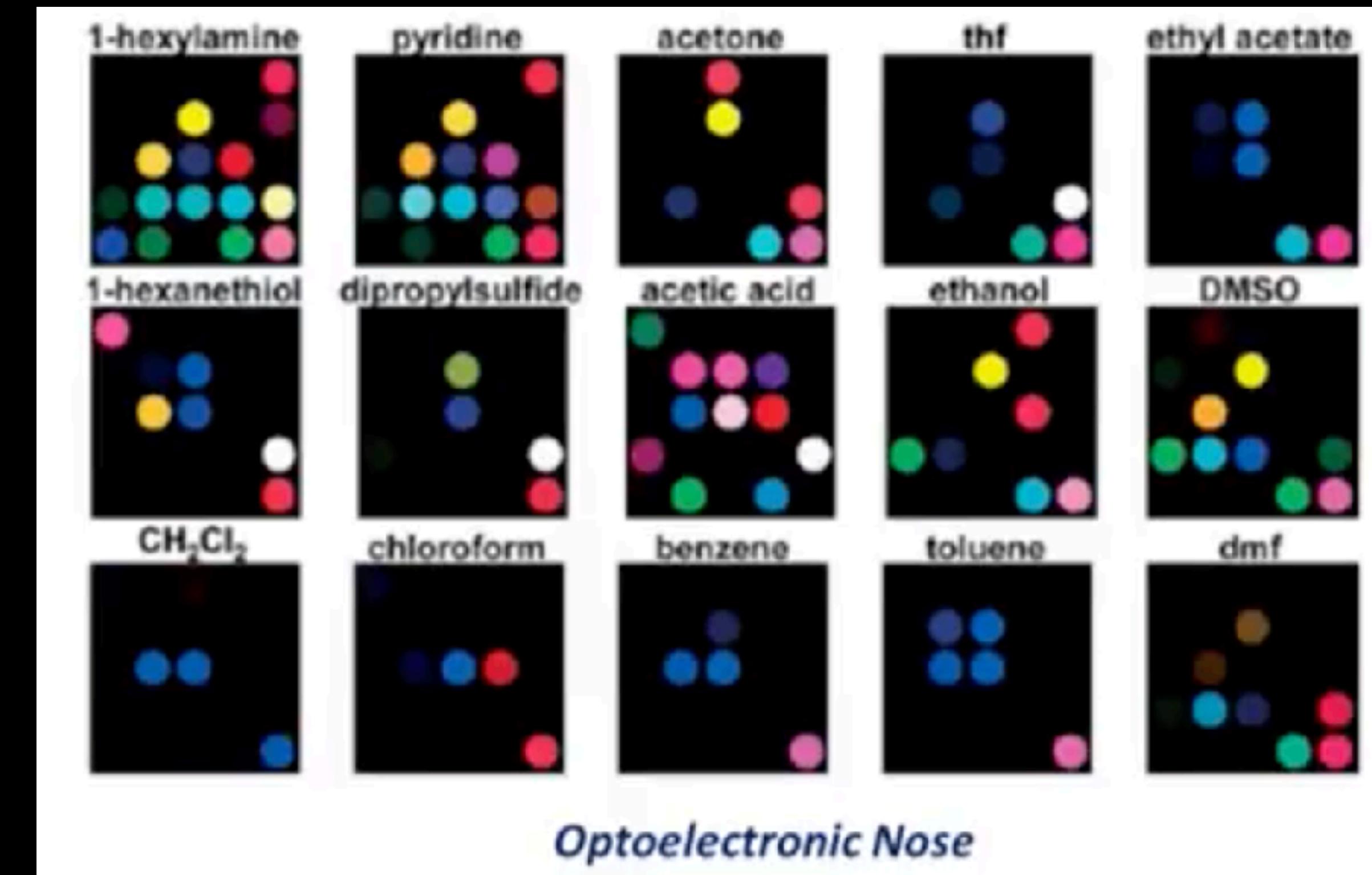
fattori genetici

fattori cognitivo-psicologici



● Biologia applicata ai sensori

- Il sensore optometrico è un chip costituito da “pallini” che, a contatto con una determinata sostanza, cambiano colore. Il risultante color pattern è una fingerptint chimica per una univoca molecola odorante (semplice o complessa)



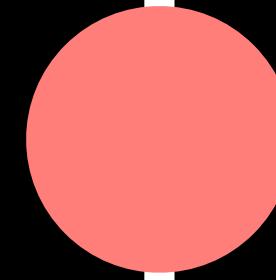


Il sistema olfattivo umano

Cos'è un naso elettronico

Algoritmi di pattern matching

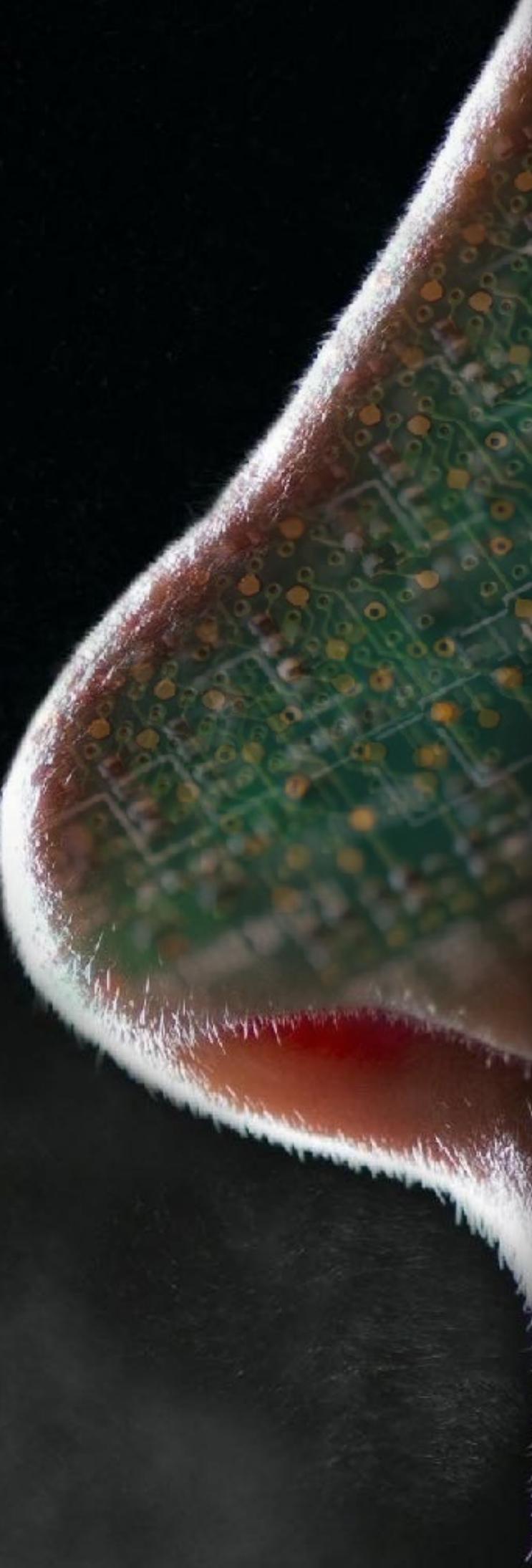
Costruire un naso elettronico



Il naso elettronico

«**Strumento che comprende un array di sensori elettrochimici parzialmente specifici»**

- Può essere definito come **sistema biomimetico**
- L'insieme di sensori produce una **impronta olfattiva, classificata tramite un database di riferimento**



Architettura Generale

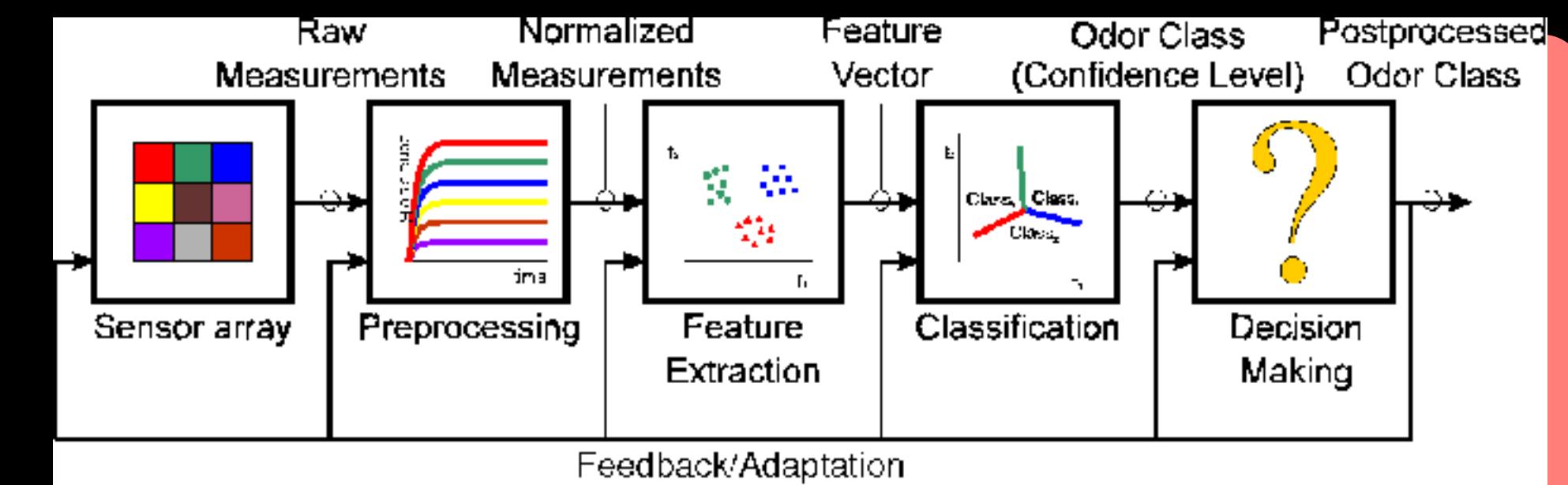
L'architettura di un naso elettronico può essere così suddivisa:

sistema di campionamento

Sistema di rilevamento/analisi

Sistema di compressione dei segnali

Sistema di riconoscimento degli odori



Architettura

L'architettura di un naso elettronico può essere così suddivisa:

sistema di campionamento

sistema di rilevamento/analisi

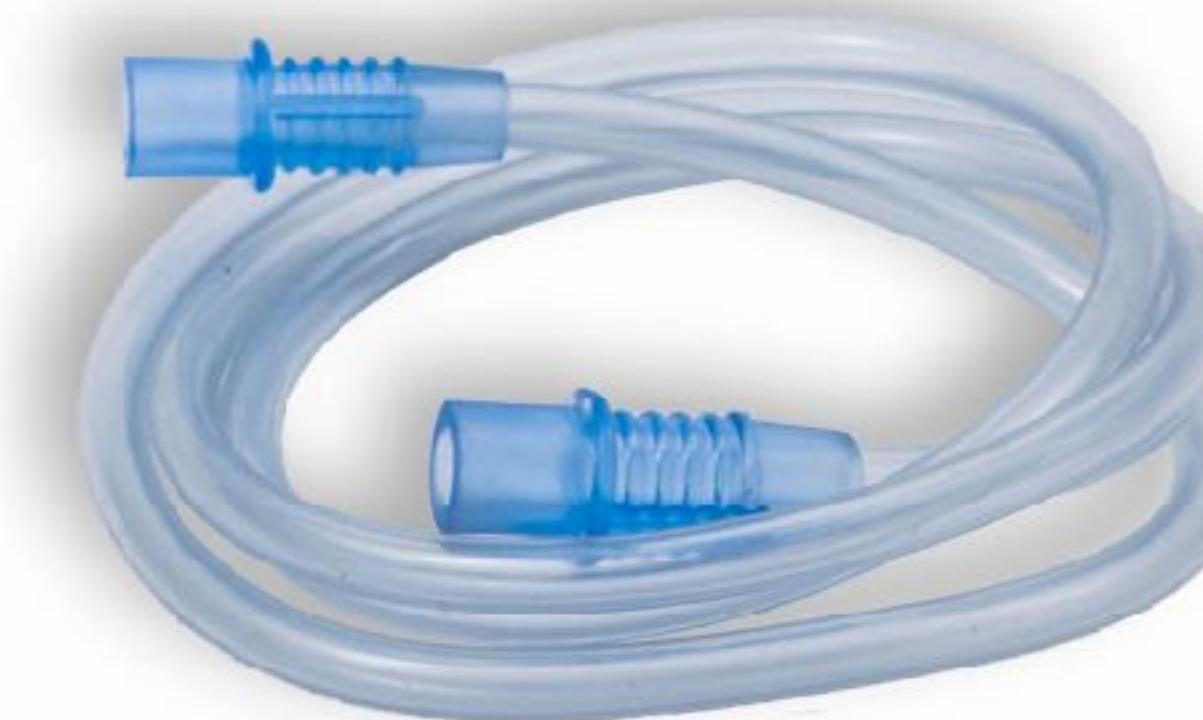
sistema di compressione dei segnali

sistema di riconoscimento degli odori

Sistema di Campionamento

Il sistema di campionamento:

- **trasporta l'aria da analizzare all'interno dello strumento**
- **può anche regolare temperatura e umidità**
- **parallelo all'inspirazione umana**



Architettura

- L'architettura di un naso elettronico può essere così suddivisa:

sistema di campionamento

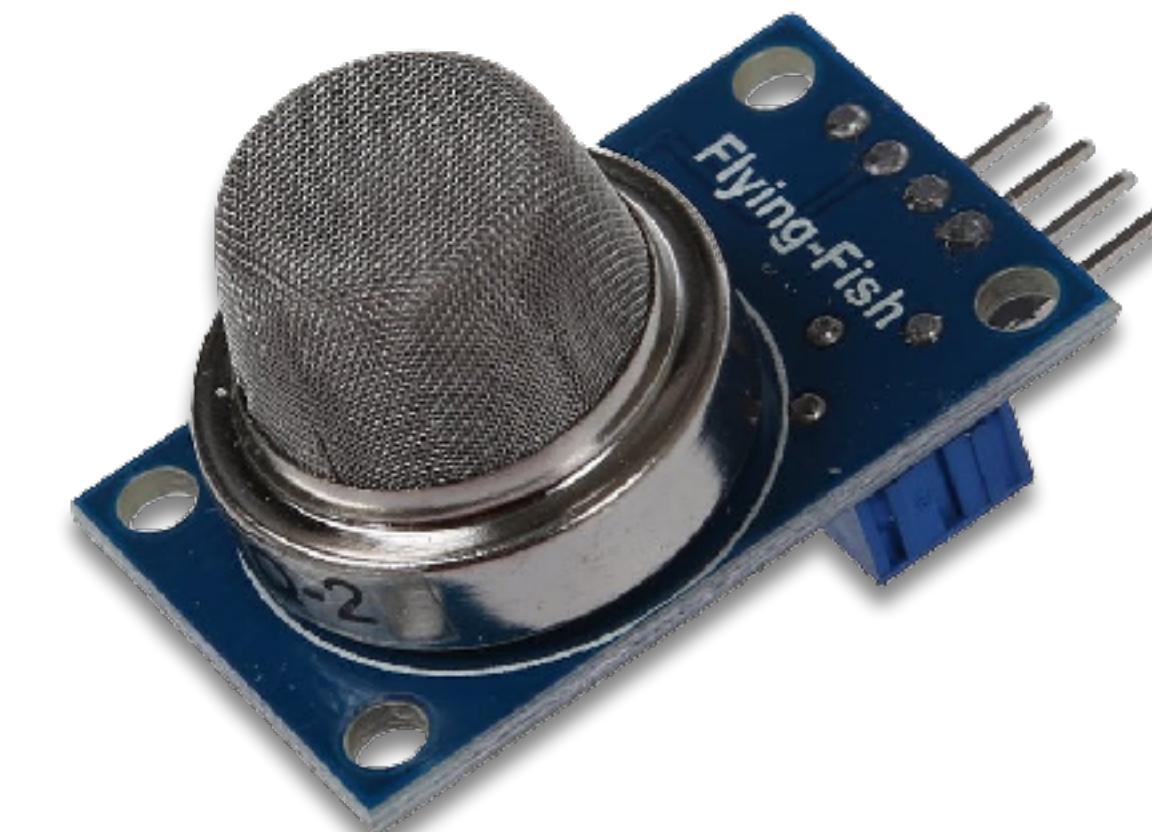
sistema di rilevamento/analisi

sistema di compressione dei segnali

sistema di riconoscimento degli odori

Sistema di Rilevamento

I **composti volatili**, a contatto con la superficie del sensore, **provocano** una **variazione** di alcune **proprietà chimico-fisiche** dello stesso.



Architettura

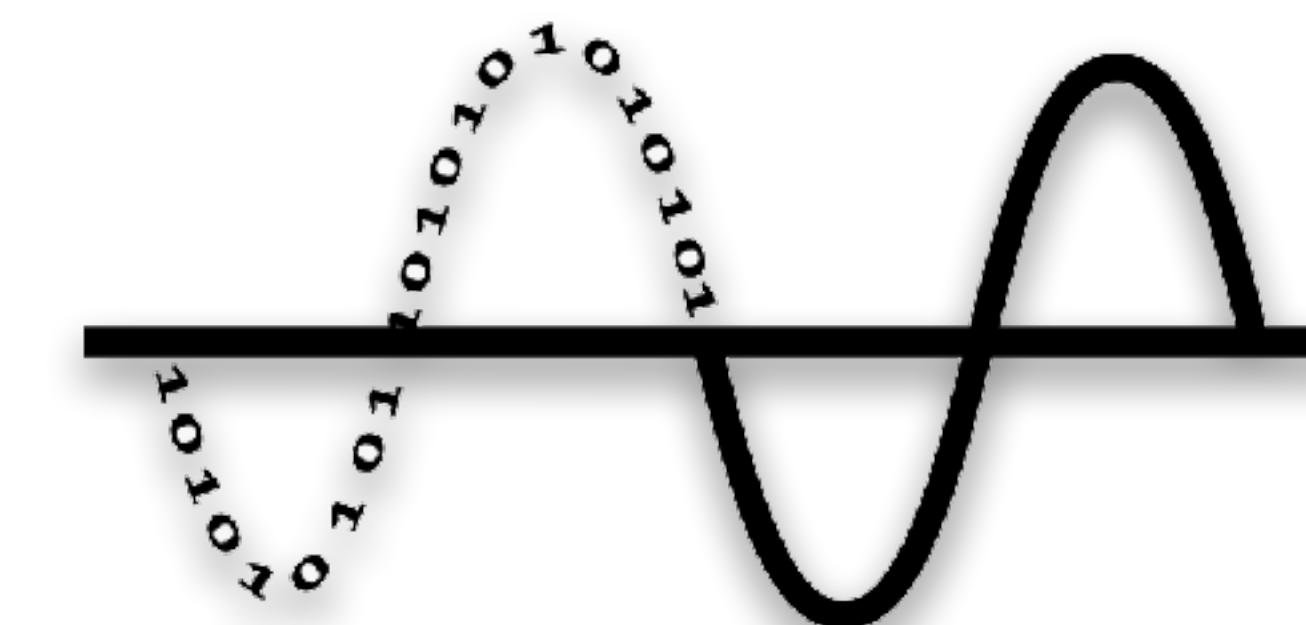
- # L'architettura di un naso elettronico può essere così suddivisa:

sistema di compressione dei segnali

Sistema di Compressione dei Segnali

Il sistema di compressione dei segnali:

- trasforma la variazione del parametro chimico-fisico del sensore in un segnale elettrico
 - analogia con il bulbo olfattivo



Architettura

L'architettura di un naso elettronico può essere così suddivisa:

sistema di campionamento

sistema di rilevamento/analisi

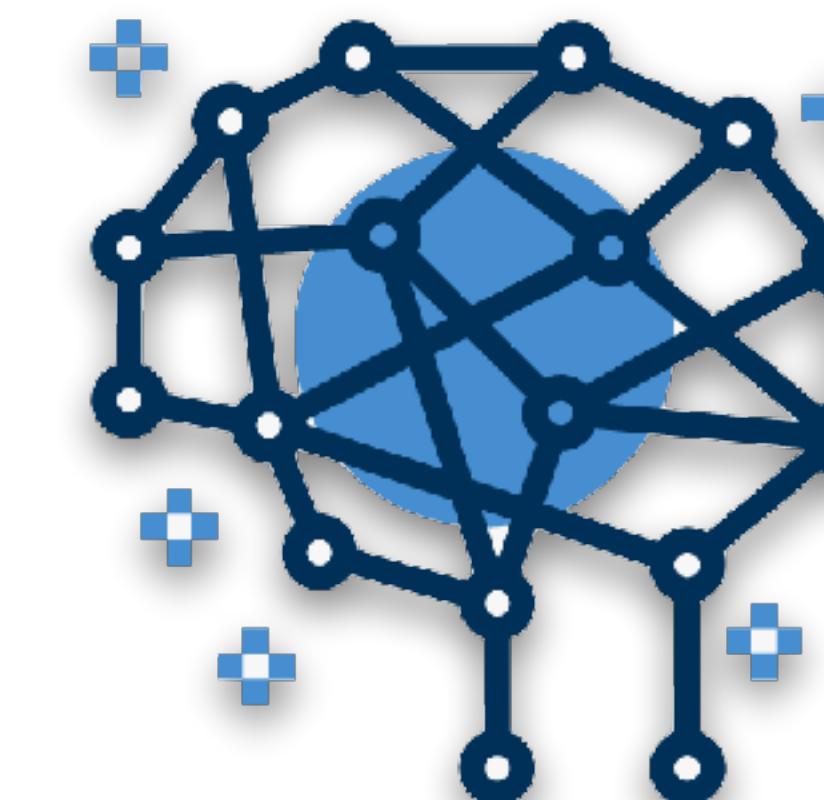
sistema di compressione dei segnali

sistema di riconoscimento degli odori

Sistema di Riconoscimento Odori

Il sistema di riconoscimento ed elaborazione degli odori:

- Trova **analogia** con il modo in cui il **cervello umano** elabora gli stimoli e li confronta al **background di esperienze**
- Sono **sistemi software** che elaborano i segnali grazie a algoritmi di **intelligenza artificiale**



Tipologie di Sensori

Esistono diverse tipologie di sensori che rientrano nella categoria di “nasi elettronici”

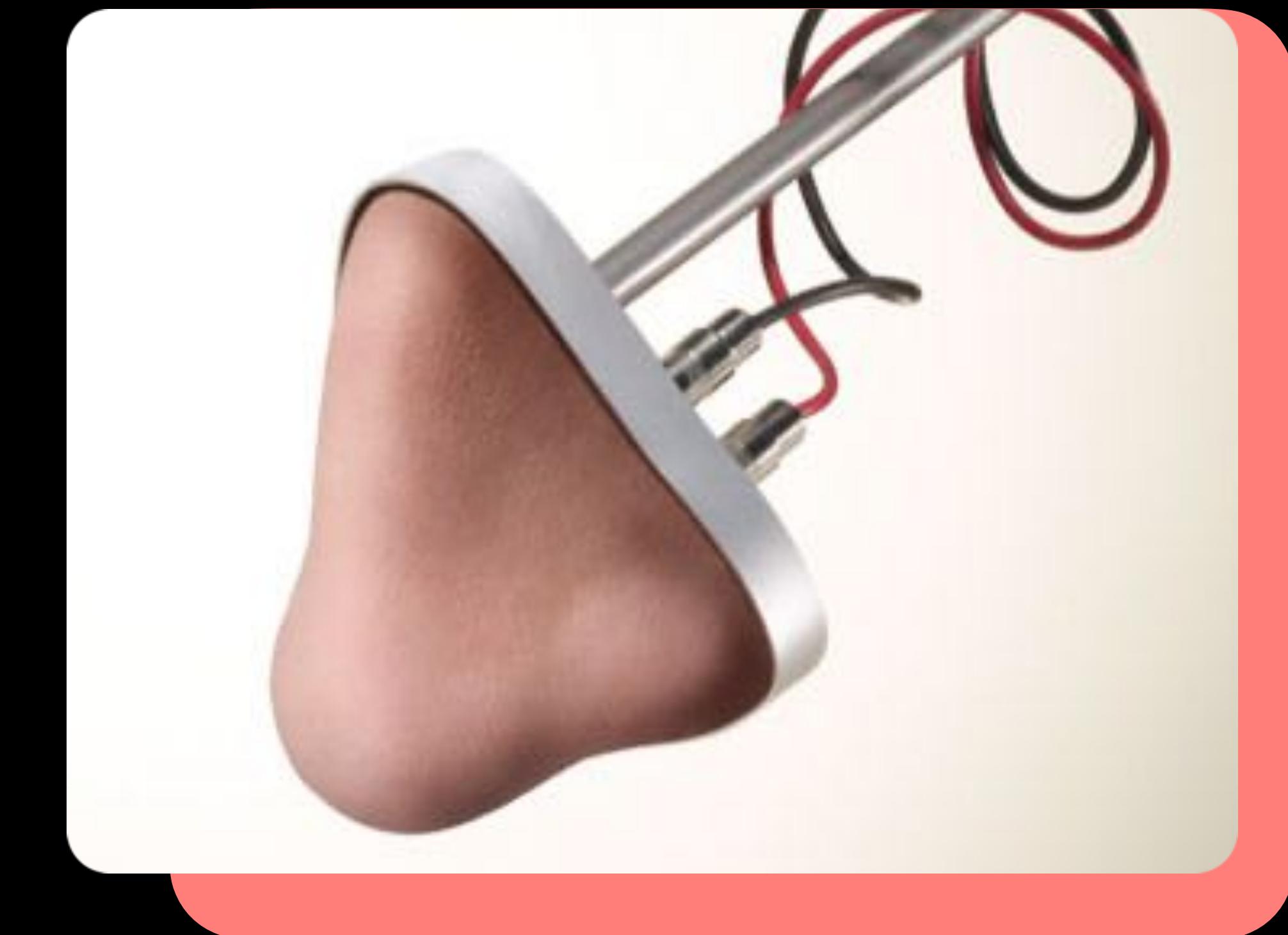
a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

Ottici



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”.

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

Ottici

A variazione di conducibilità

I sensori a variazione di conducibilità sono costituiti da:

- uno strato di materiale attivo (**ossidi metallici o polimeri conduttori**)
- elettrodi di platino alluminio o oro
- substrato di silicio vetro o plastica

In base al **materiale attivo utilizzato** si possono identificare **due** diversi **sensori a variazione di conducibilità**:

- **sensori MOS**
- **sensori a polimeri conduttori**

Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

Ottici

Sensori MOS

I Metal Oxide Sensor (MOS) sono caratterizzati da:

- un film di ossidi metallici semiconduttori su supporto ceramico
- una resistenza riscaldante
- algoritmi per la correzione del drift



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

Ottici

Sensori a Polimeri Conduttori

Questi sensori:

- hanno come materiale attivo polimeri aromatici o eteroarmoatici ed elettrodi di oro
- possono lavorare a temperatura ambiente e non necessitano di elementi riscaldanti
- sono sensibili all'umidità
- drift dovuto a invecchiamento materiale



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

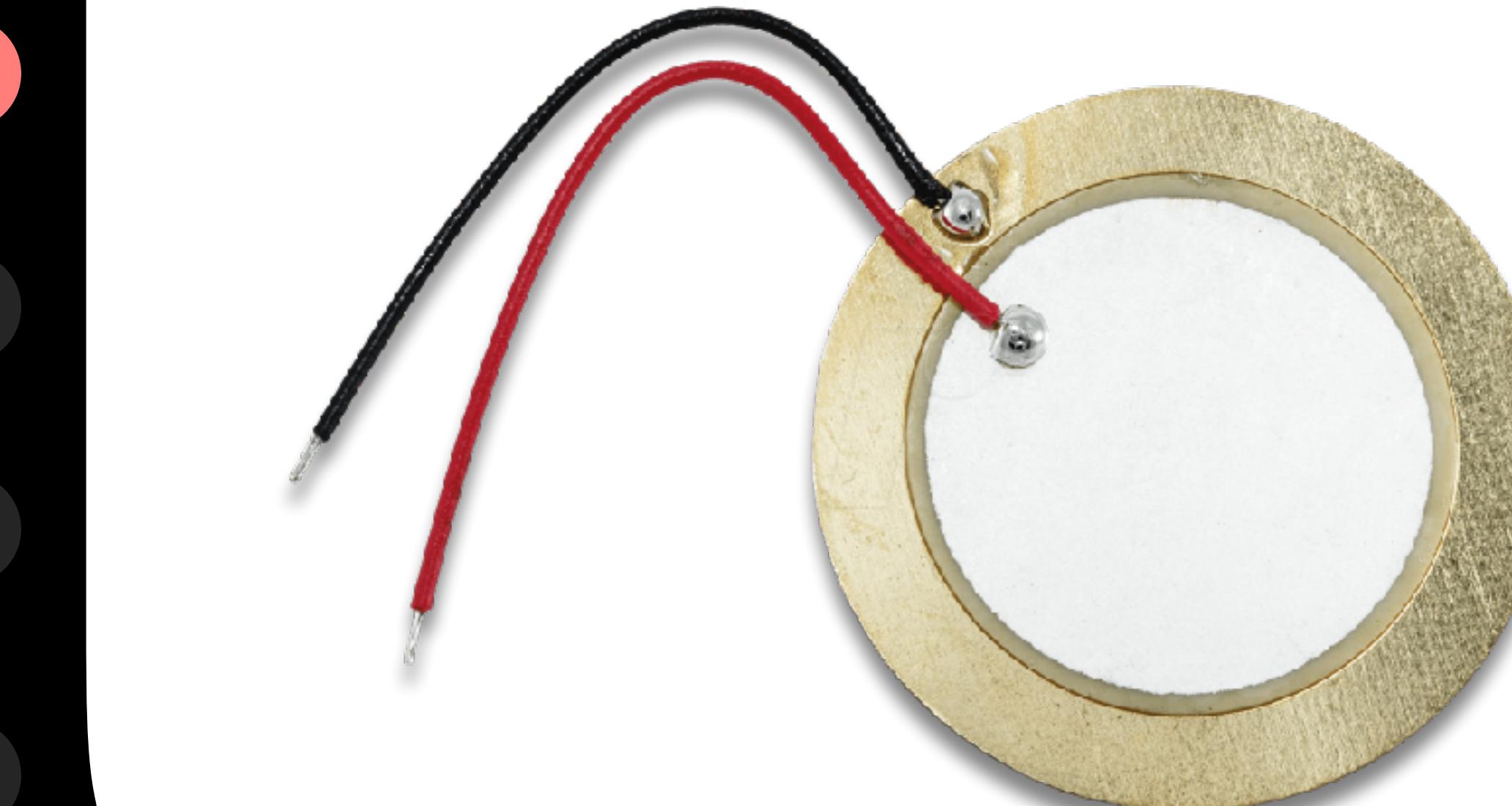
MOSFET

elettrochimici

Ottici

Sensori Piezoelettrici

Questi sensori, a contatto con molecole odorose, subiscono una variazione di massa della superficie del materiale attivo e una conseguente variazione della frequenza di risonanza del materiale stesso.



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori nella categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

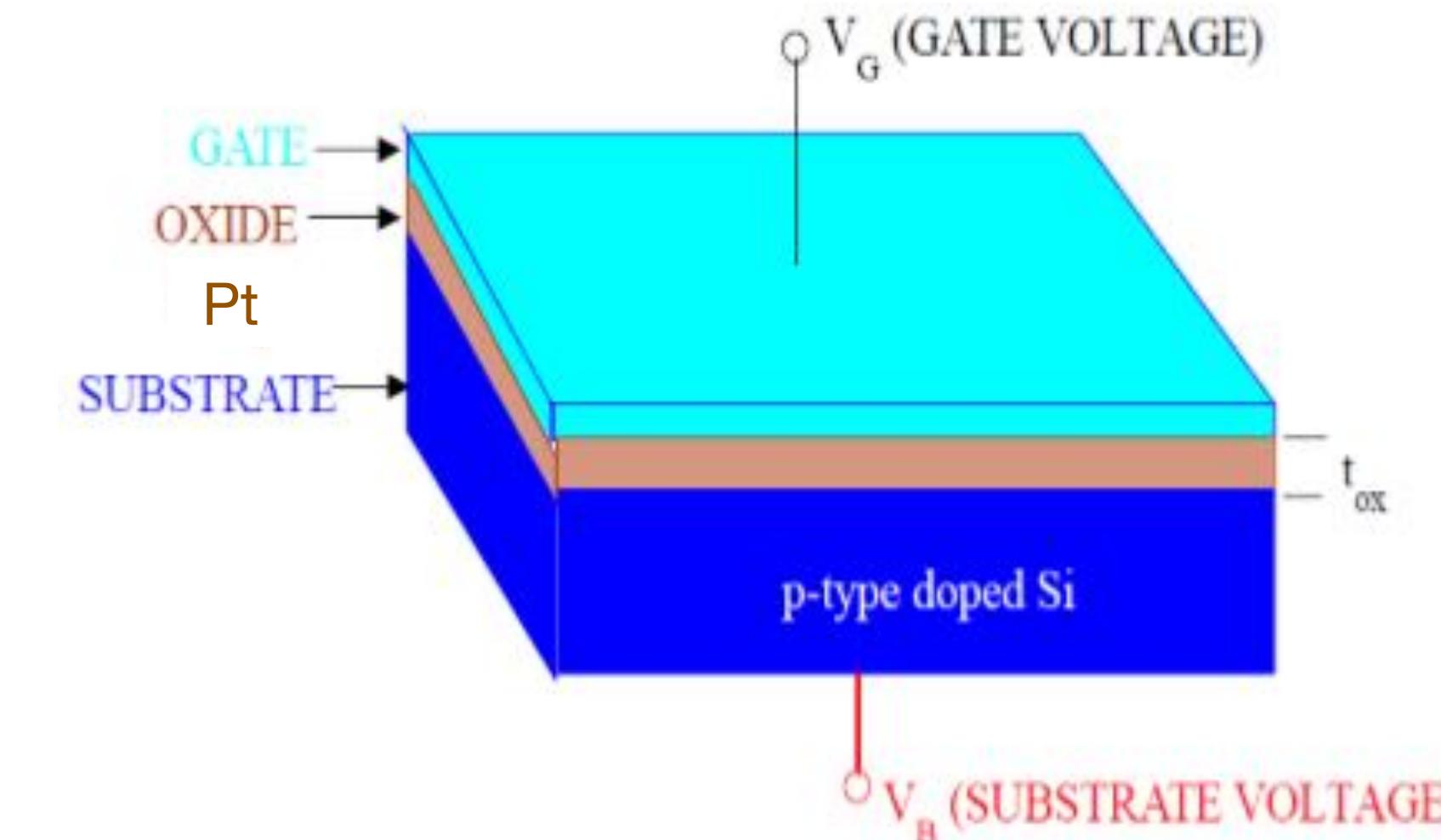
Ottici

Sensori MOSFET

Questi sensori sono costituiti da tre strati:

- gate metallico
- sottile strato di materiale catalizzatore
- substrato isolante

Reazione catalitica con idrogeno che modifica campo elettrico



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

Ottici

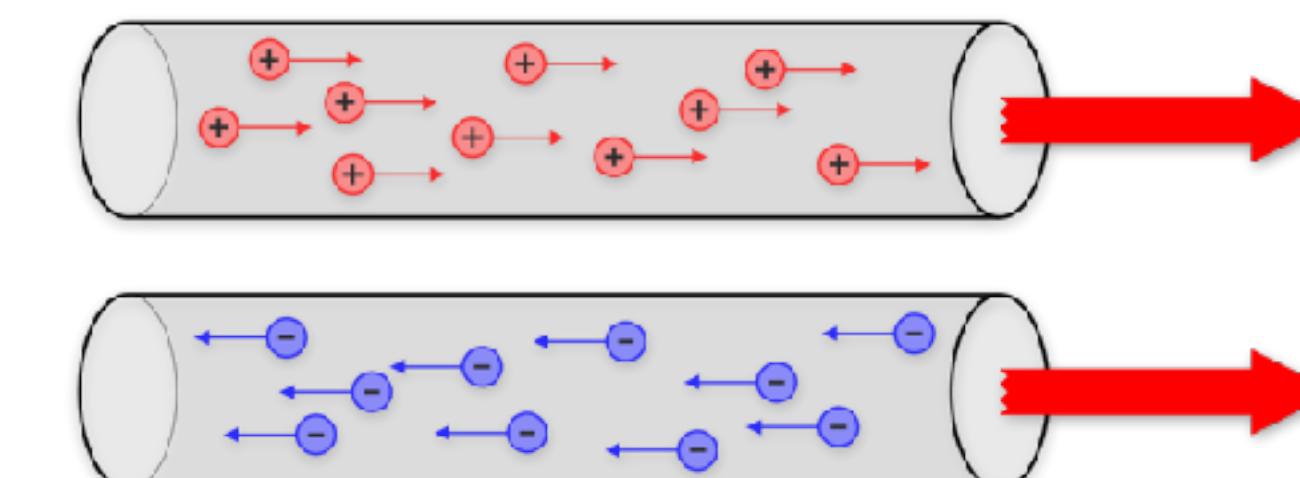
Sensori Elettrochimici

Si tratta di sensori generalmente specifici usati quando si conoscono a priori le sostanze presenti nell'aria. Sono costituiti di:

- elettrodo di lavoro
- contro elettrodo
- elettrodo di riferimento

A contatto con un elettrolita

Si ha un flusso di elettroni che corrisponde ad una corrente proporzionale alla concentrazione del gas



Tipologie di sensori

Esistono diverse tipologie di sensori, una delle quali è la categoria di “nasi elettronici”

a variazione di conducibilità

piezoelettrici

MOSFET

elettrochimici

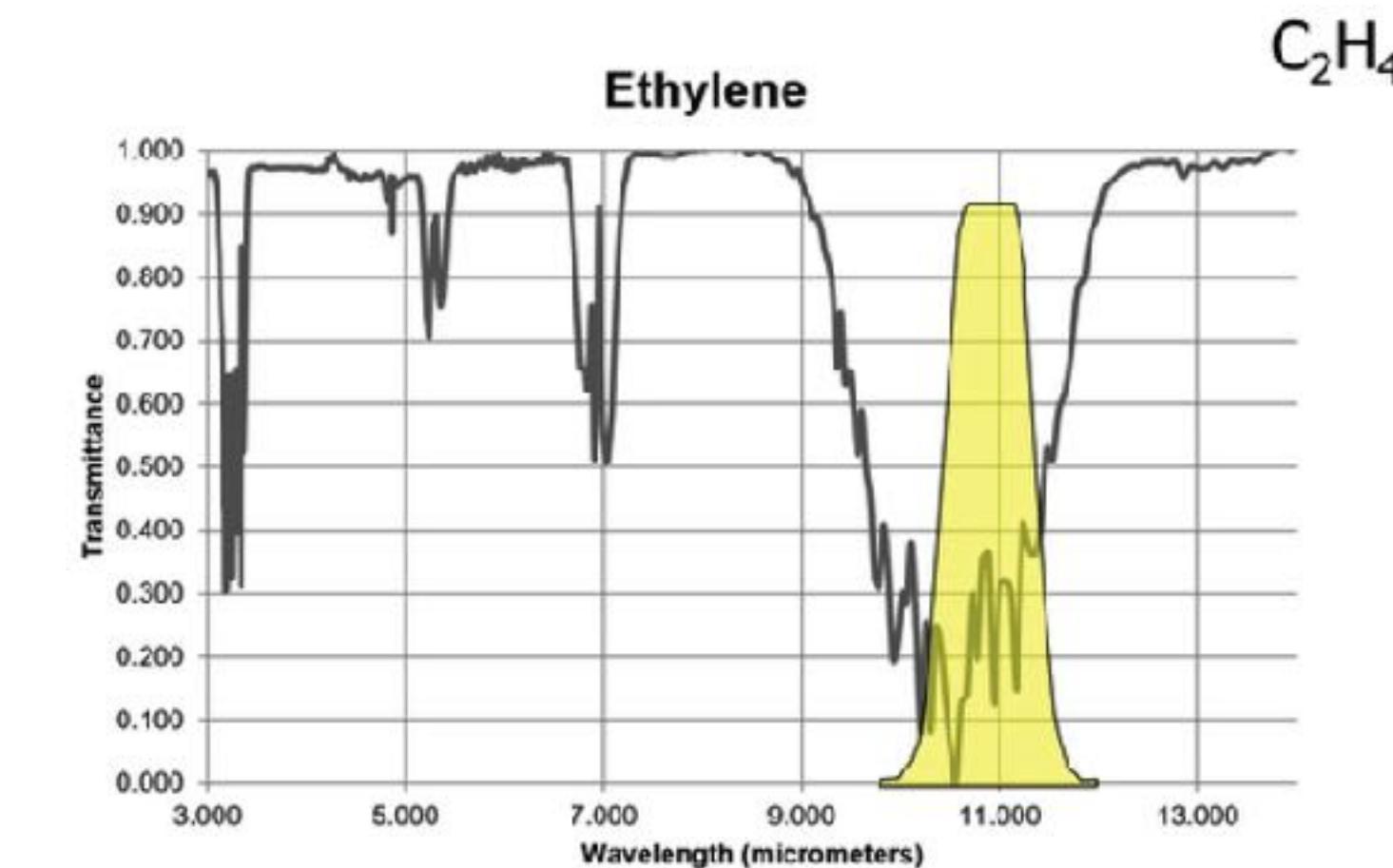
Ottici

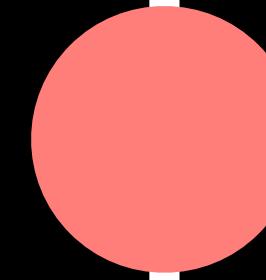
Sensori Ottici

Convertono raggi luminosi in un segnale elettronico. Sono costituiti da:

- sorgente luminosa
- piattaforma di rilevamento
- rilevatore di luce

La loro operazione richiede ambiente sottovuoto





Ambiti di Applicazione

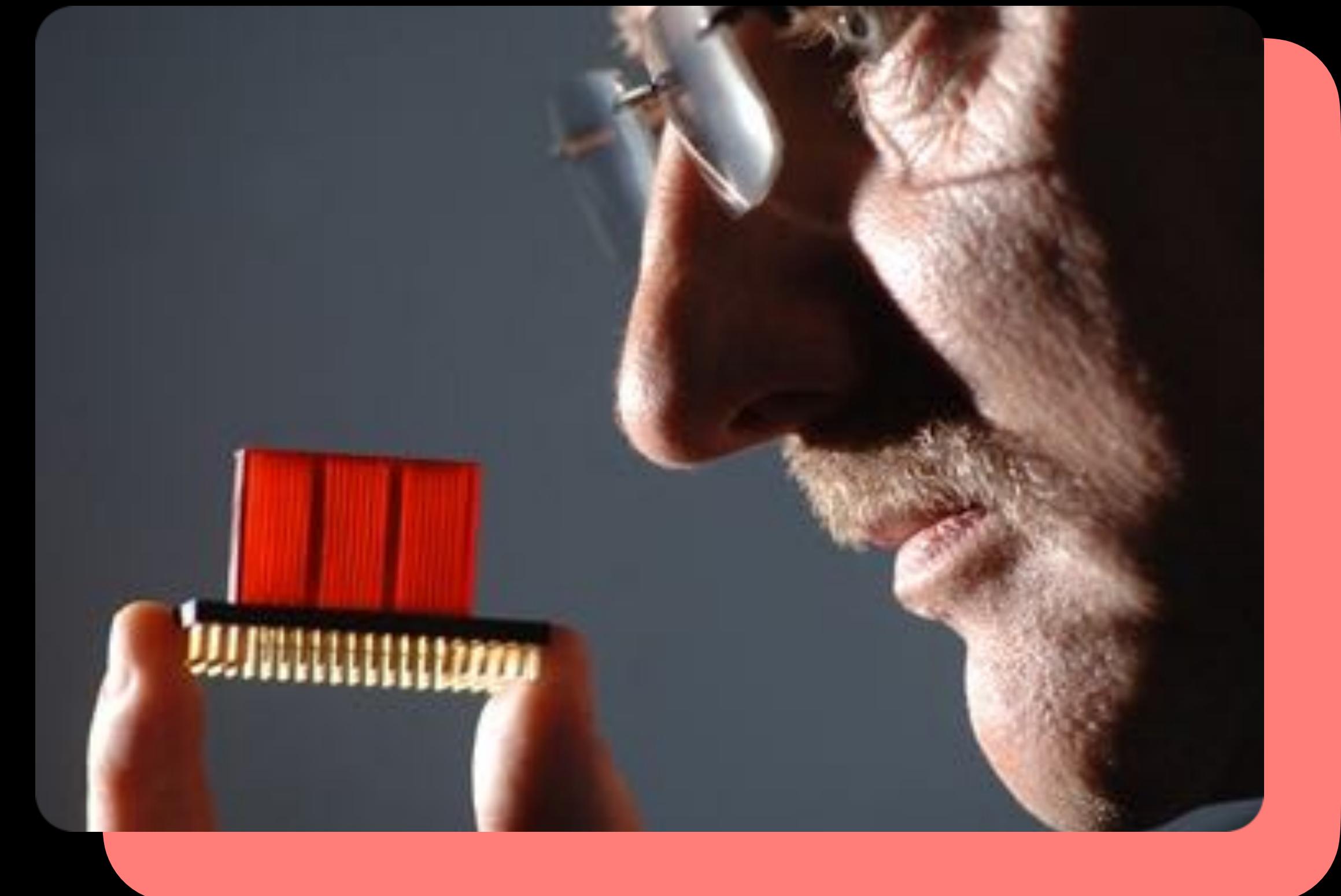
- I campi di applicazione dei nasi artificiali sono molteplici:

ambito biomedicale

ambito di sicurezza

ambito ambientale

ambito culinario



Ambiti di Applicazione

I campi di applicazione dei nasi artificiali sono molteplici:

ambito biomedicale

ambito di sicurezza

ambito ambientale

ambito culinario

Ambito Biomedicale

Ambiti miodeliali possono essere:

- riconoscimento di malattie che producono alterazione nell'odore di fluidi biologici
- impianti olfattivi per risolvere anosmia



Ambiti di Applicazione

I campi di applicazione dei nasi artificiali sono molteplici:

ambito biomedicale

ambito di sicurezza

ambito ambientale

ambito culinario

Ambito Di Sicurezza

Servono a prevenire rischi derivanti da sostanze nocive nell'aria.



Ambiti di Applicazione

I campi di applicazione dei nasi artificiali sono molteplici:

ambito biomedicale

ambito di sicurezza

ambito ambientale

ambito culinario

Ambito Ambientale

I nasi elettronici vengono impiegati nel monitoraggio continuo della qualità dell'aria e costituiscono l'unico metodo applicabile per la determinazione oggettiva dell'impatto olfattivo



UNI 11761:2019
Emissioni e qualità dell'aria: IOMS

Ambiti di Applicazione

I campi di applicazione dei nasi artificiali sono molteplici:

ambito biomedicale

ambito di sicurezza

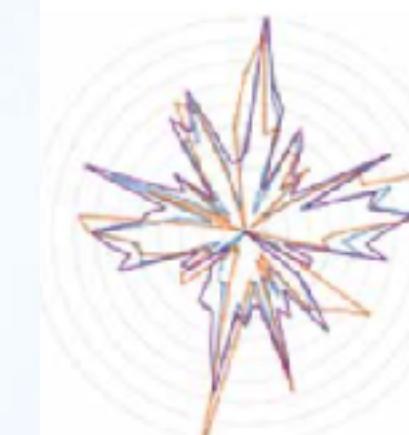
ambito ambientale

ambito culinario

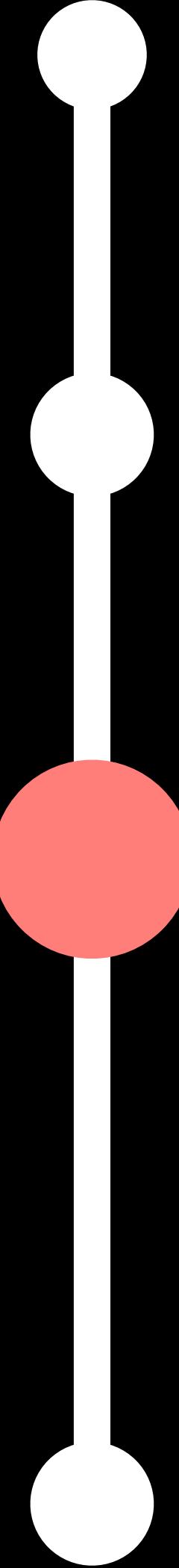
Ambito Culinario

I nasi elettronici possono essere impiegati in vari modi:

- discriminare tipologie di caffè (Gardner 1992)
- riconoscere velenosità di alimenti
- verificare autenticità di un prodotto (trufflebot)
- Garantire che la traccia olfattiva di un prodotto sia sempre la medesima



Water
"Dried" Lemon Beverage
Lemon Beverage



Il sistema olfattivo umano

Cos'è un naso elettronico

Algoritmi di pattern matching

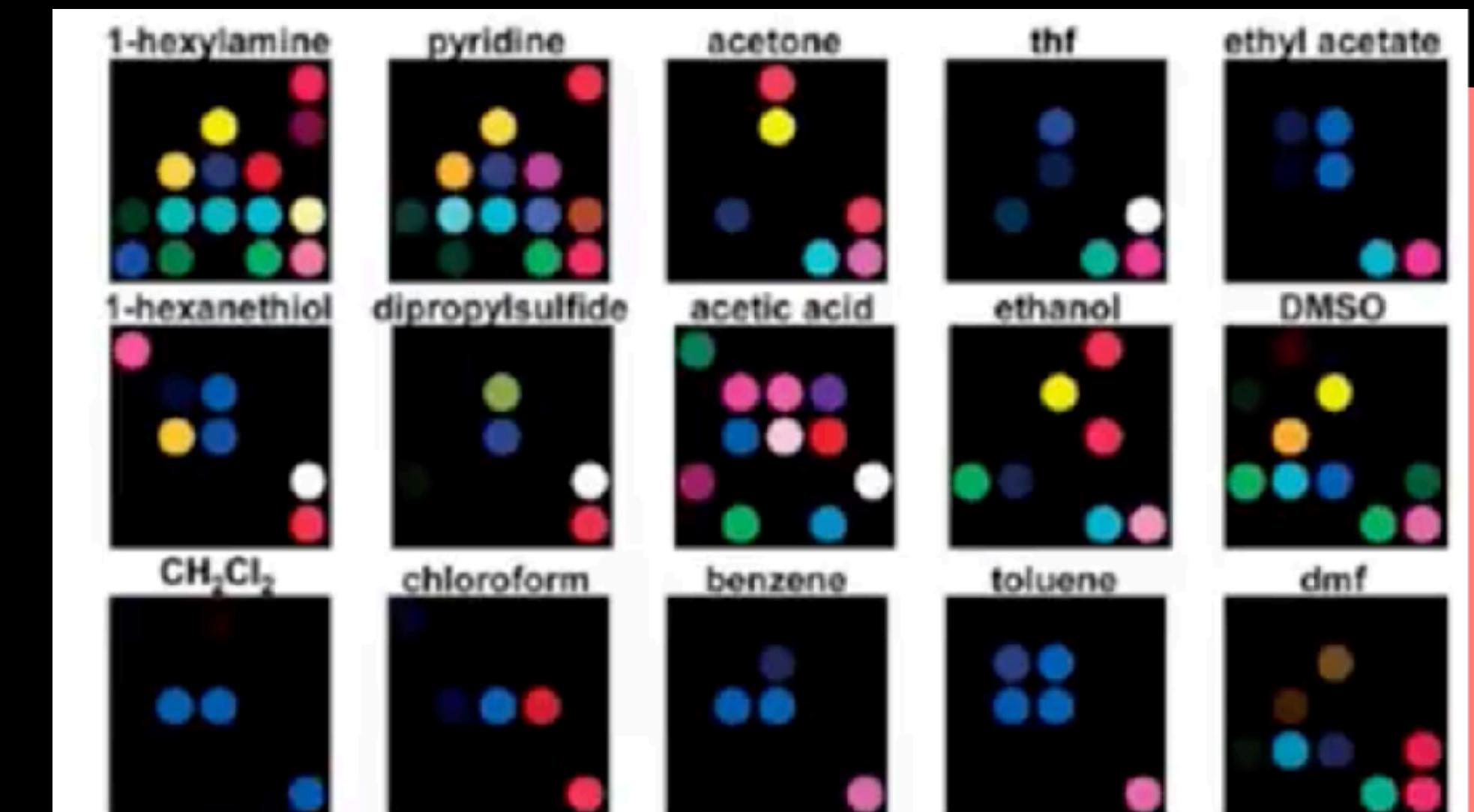
Costruire un naso elettronico

Il naso digitale

«**dispositivo che identifica gli specifici componenti di un odore e analizza la sua composizione chimica** »

Come funziona?

array di sensori & meccanismo di machine learning per creare un sistema di pattern recognition

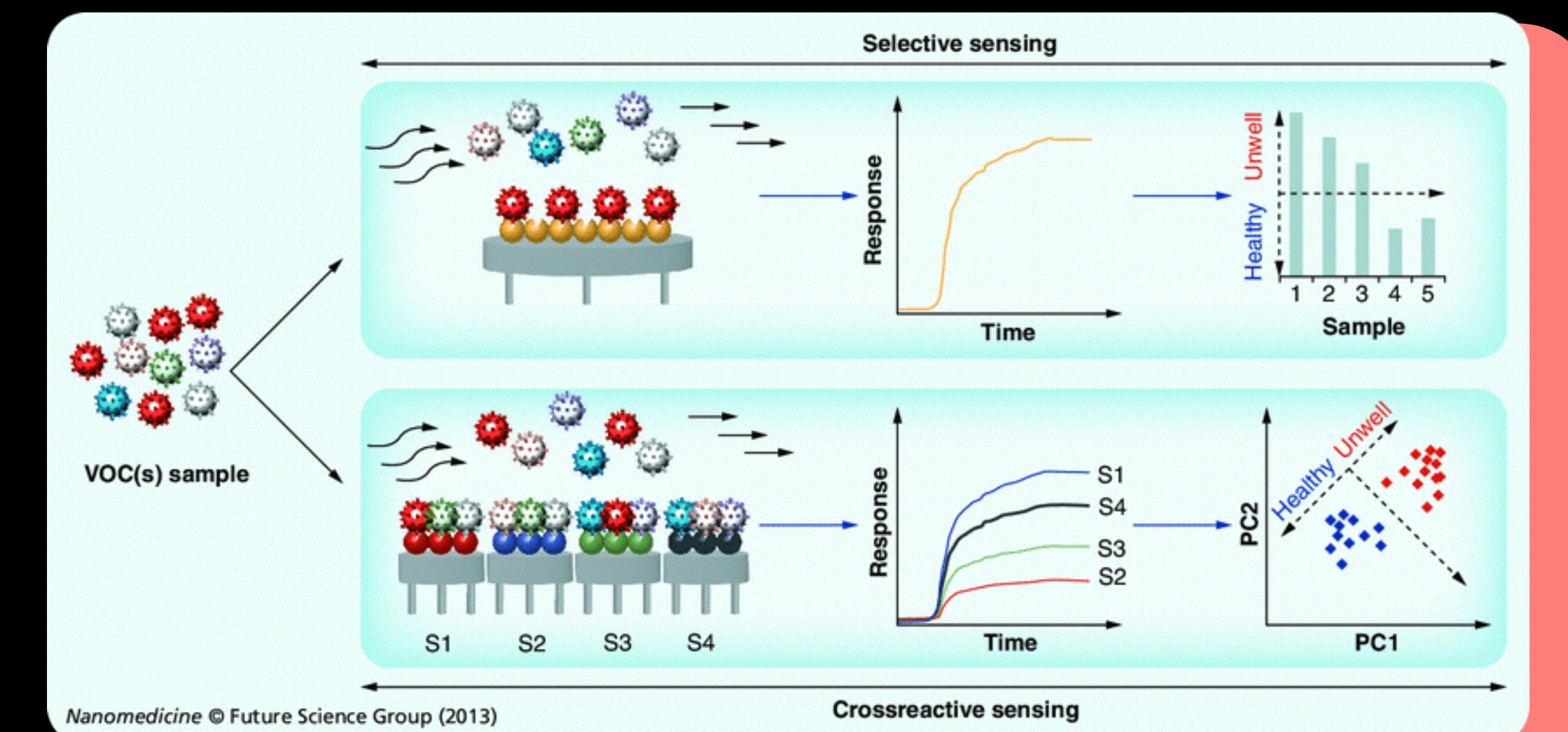


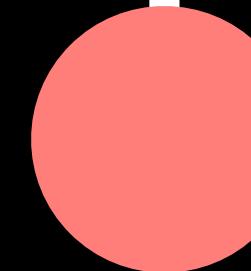
Tecniche di analisi degli odori

- Le tecniche utilizzate sono fondamentalmente due:

selective sensing

crossreacting sensing





Tecniche di sensazione



Le tecniche utilizzate sono fondamentalmente due:

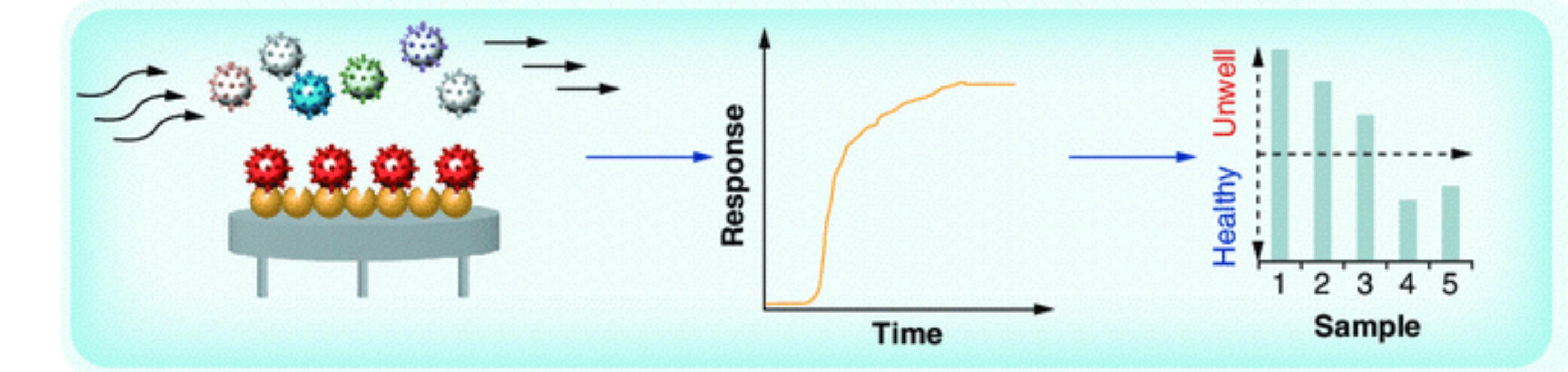
selective sensing

crossreacting sensing

Selective Sensing

Il selective sensing:

- può identificare un singolo composto all'interno di più odori
- ha una percentuale molto alta di successo e precisione nell'identificazione



Tecniche di sensing

Le tecniche utilizzate sono fondamentalmente due:

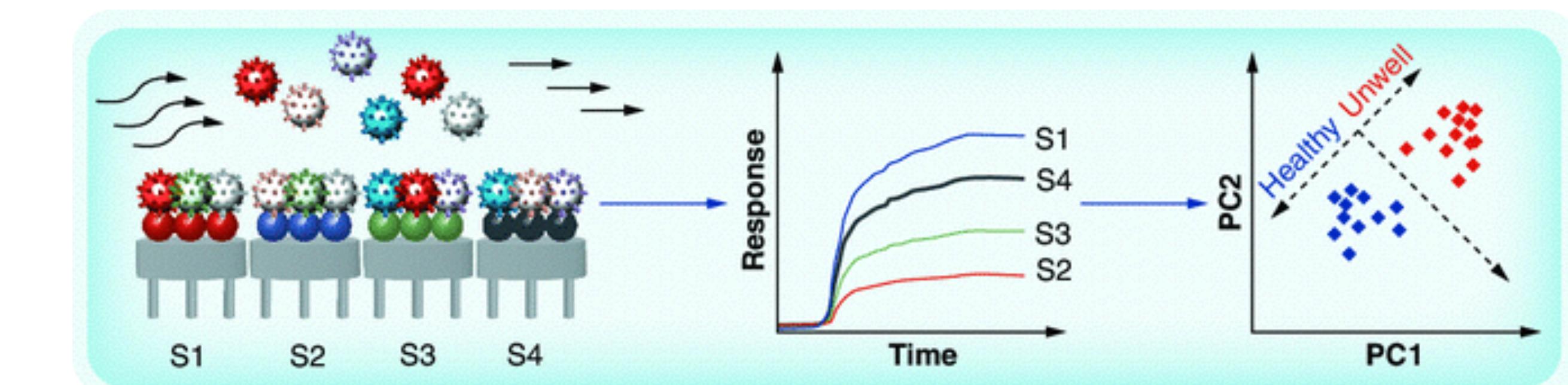
selective sensing

crossreactive sensing

Cross-Reactive Sensing

Il cross-reactive sensing:

- è un array di sensori specifici per differenti elementi
- è capace di identificare i vari valori percentuali degli elementi all'interno di composti, in modo da stabilire chimicamente la composizione di un odore e riuscire a creare una fingerprint da inserire/confrontare in un sistema di pattern recognition



Vantaggi del naso digitale

I nasi elettronici sono più veloci ed economici rispetto alle tradizionali tecniche di analisi quali:

cromatografia olfattometrica

spettrografia di massa

rilevatore a ionizzazione di fiamma

Vantaggi del naso elettronico

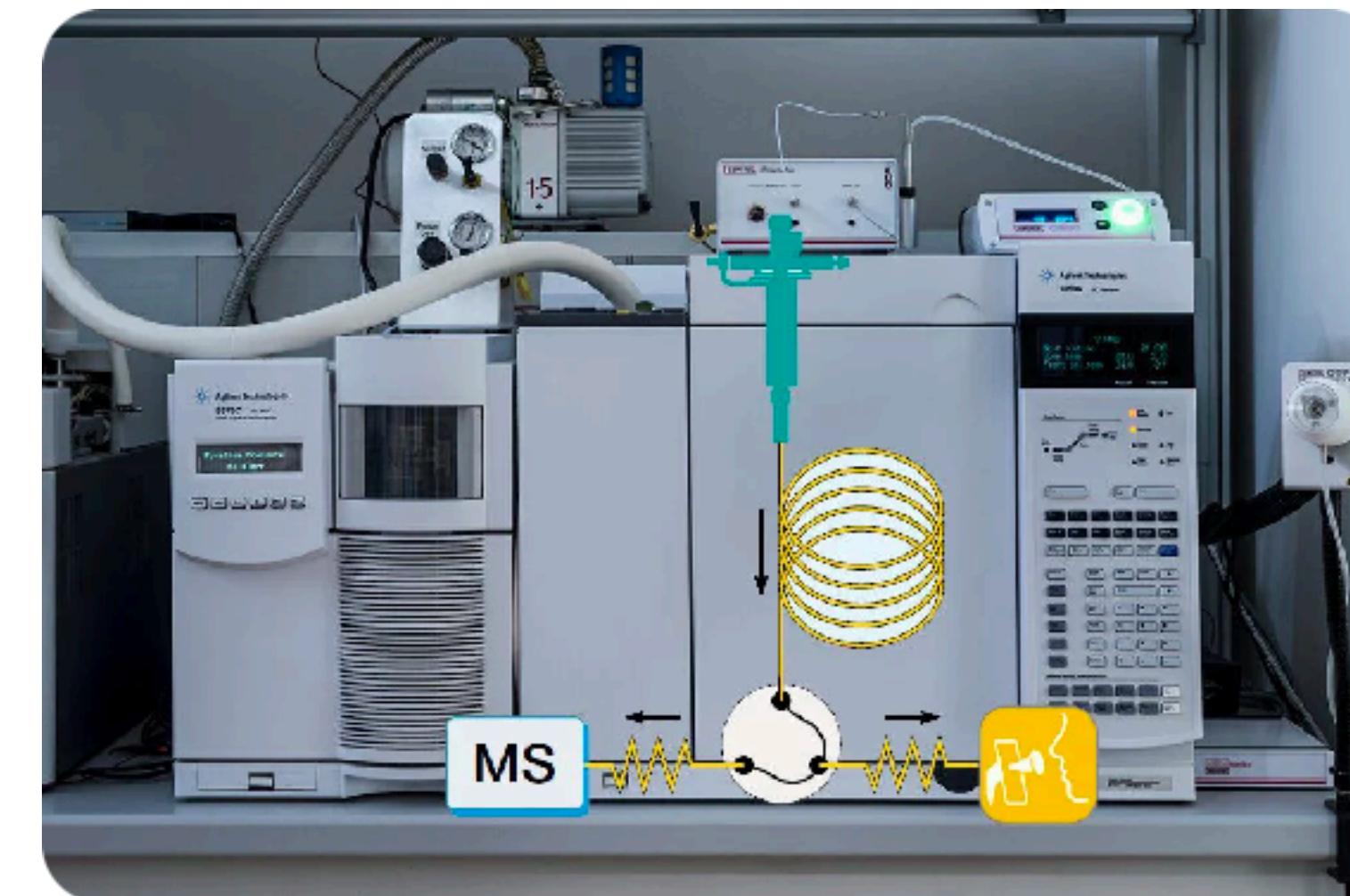
I nasi elettronici sono più veloci e economici rispetto alle tradizionali analisi quali:

cromatografia-olfattometria

spettrometria di massa

rivelatore a ionizzazione di fiamma

Cromatografia Olfattometrica



Vantaggi del naso elettronico

I nasi elettronici sono più veloci e economici rispetto alle tradizionali analisi quali:

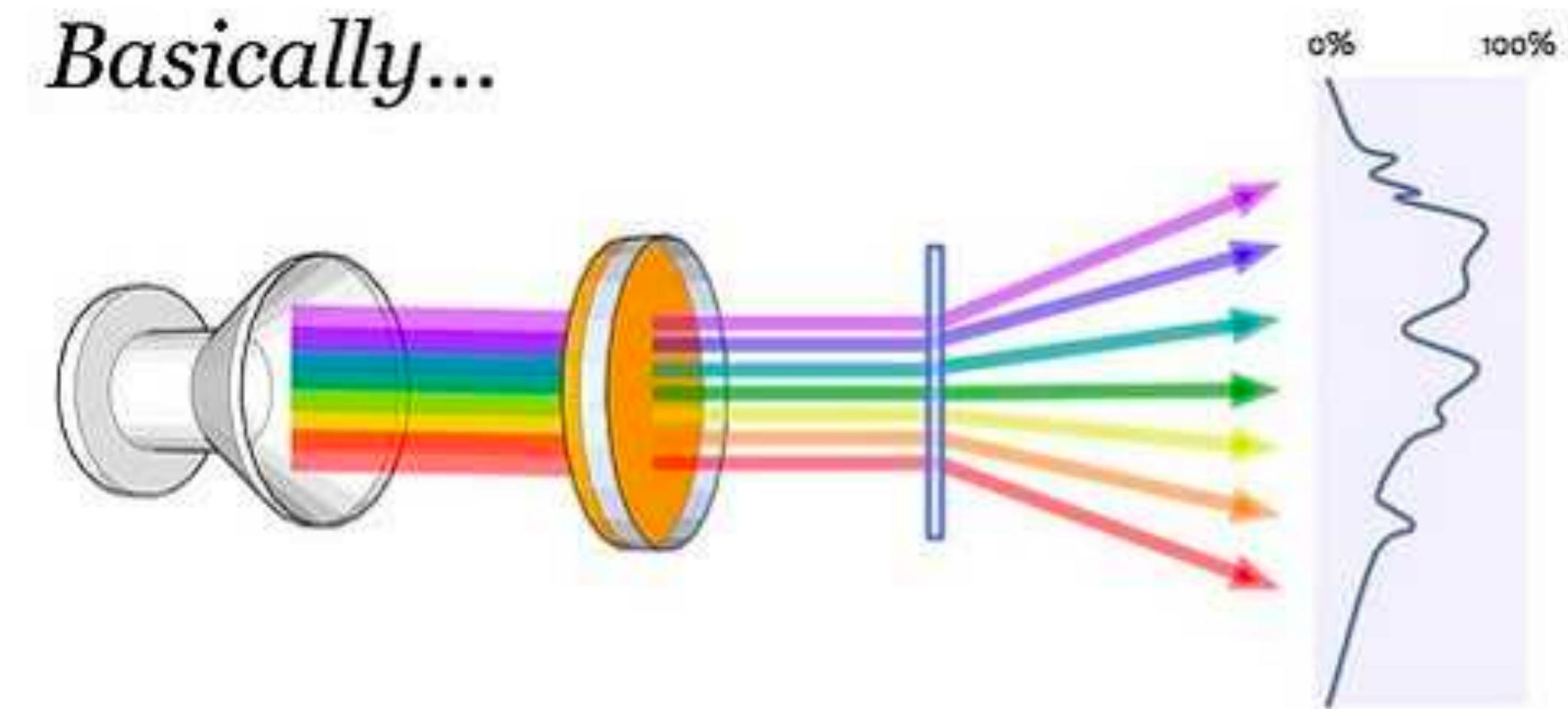
cromatografia-olfattometria

spettrometria di massa

rivelatore a ionizzazione di fiamma

Spettrometria di Massa

Basically...



Vantaggi del rivelatore a ionizzazione di fiamma

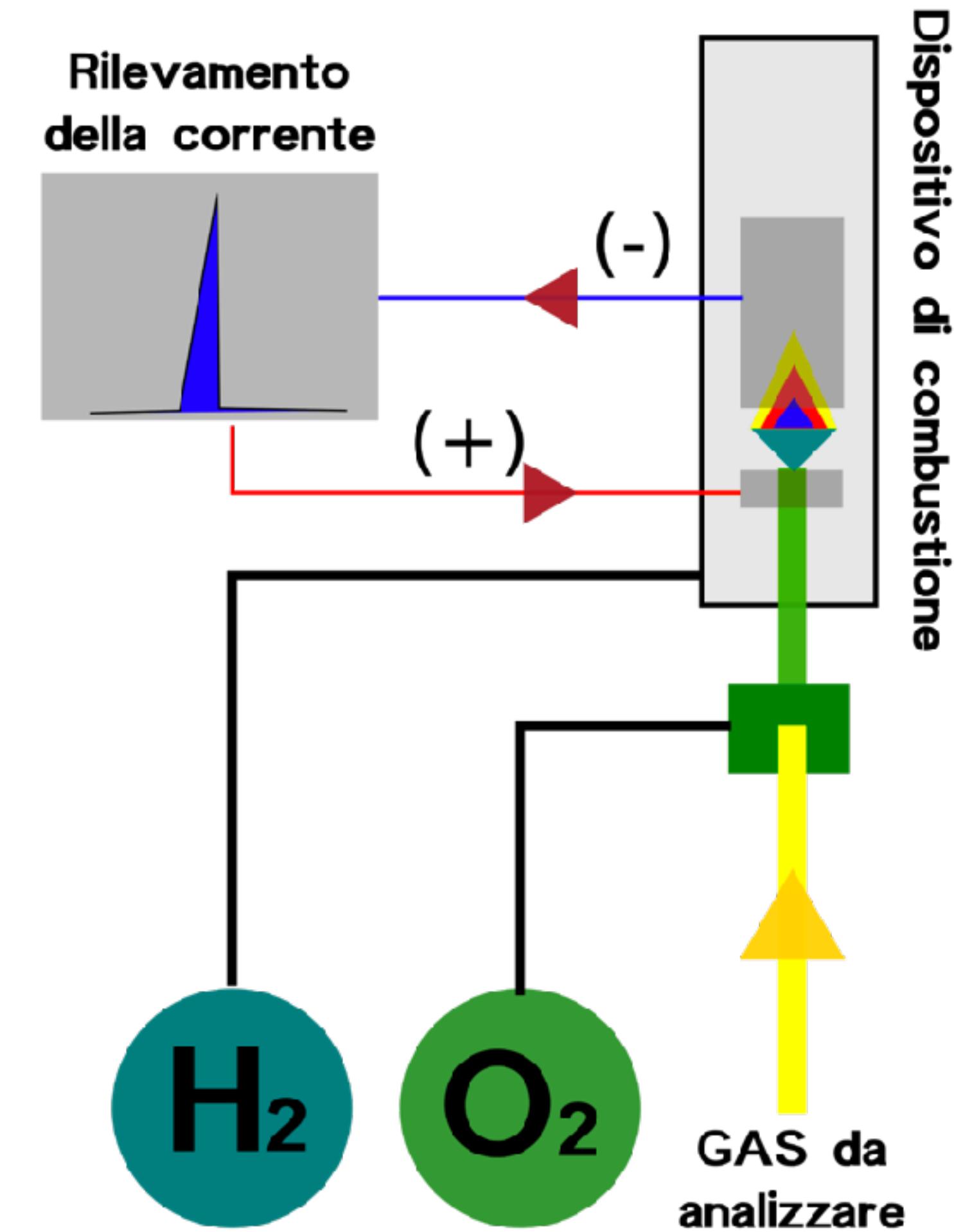
I nasi elettronici sono più veloci e economici rispetto alle tradizionali analisi quali:

cromatografia-olfattometria

spettrometria di massa

rivelatore a ionizzazione di fiamma

Rivelatore a ionizzazione di fiamma



Svantaggi del naso digitale

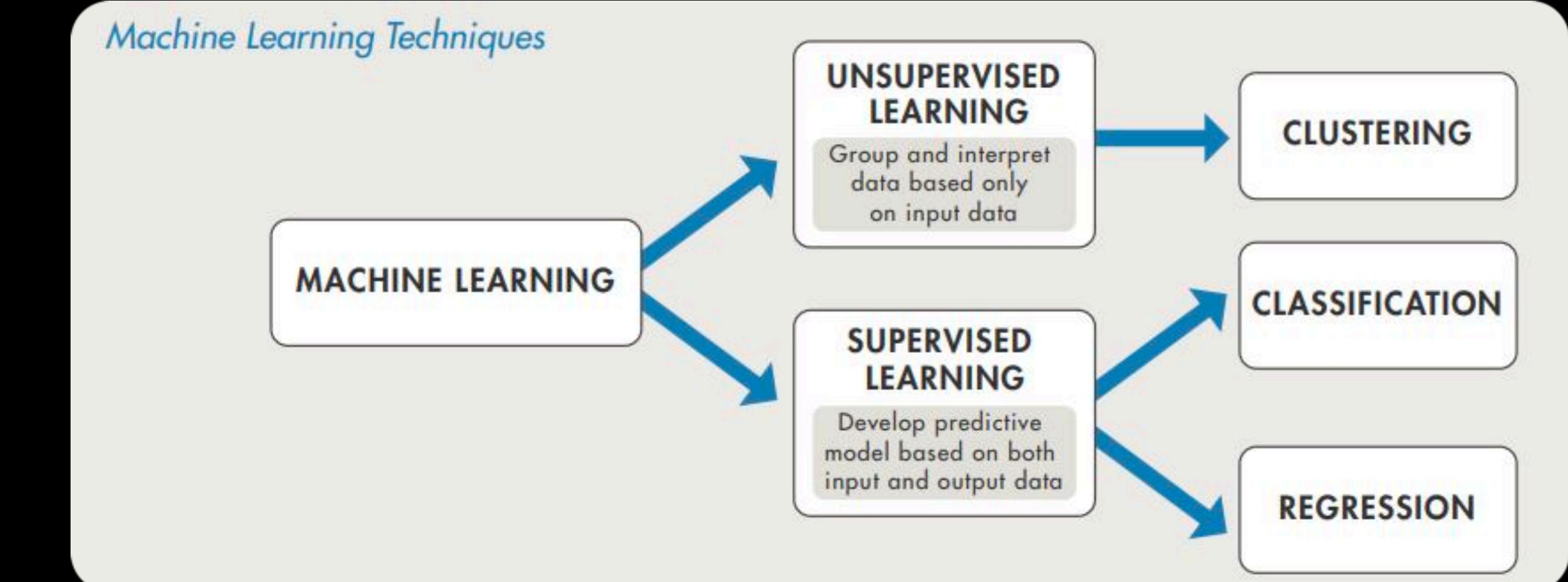
- Se da una parte portano grandi vantaggi a livello di velocità ed economicità, risultano spesso inaccurati o imprecisi nell'analisi di composti formati da molteplici molecole diverse tra loro.

Machine Learning

- **Tecnica che mira allo sviluppo di algoritmi che consentono al computer di imparare e riconoscere pattern complessi, basandosi su database di dati.**
- **Ne esistono due fondamentali tipologie:**

supervised learning

unsupervised learning



Machine Learning

- **Tecnica che mira allo sviluppo di programmi che consentono al computer di imparare pattern complessi, basandosi su dati esistenti.**

- **Ne esistono due fondamentali:**

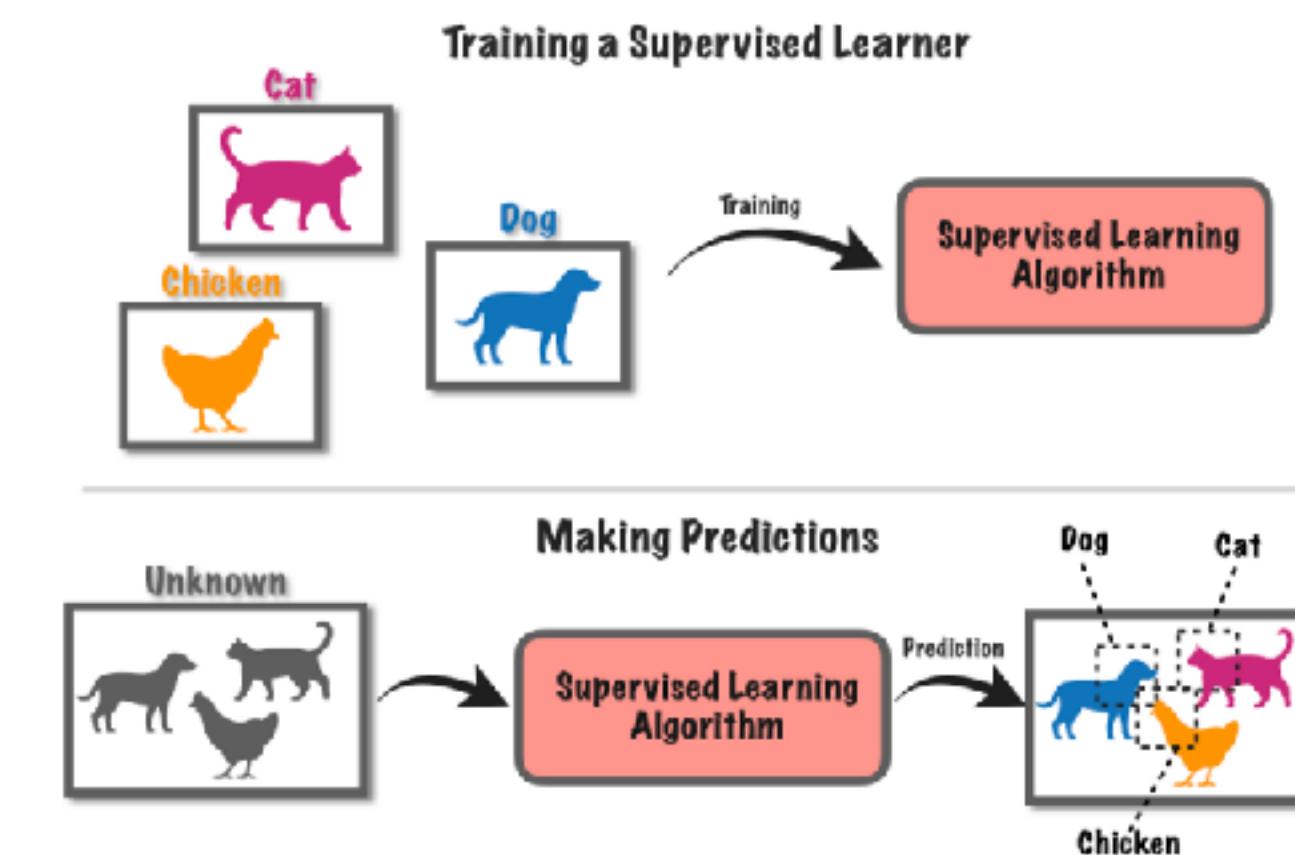
- supervised learning

- unsupervised learning

Supervised Learning

Negli algoritmi di supervised learning:

- I dati sono etichettati in basi a classi definite create precedentemente in base a dei test.
- si fornisce un set di input data sconosciuti, una quantità di risposte conosciute e si cerca di creare un sistema di predizione che identifica risposte ragionevoli ai nuovi dati



Machine Learning

• **Tecnica che mira allo sviluppo di algoritmi che consentono al computer di riconoscere pattern complessi, basandosi su dati**

• **Ne esistono due fondamentali:**

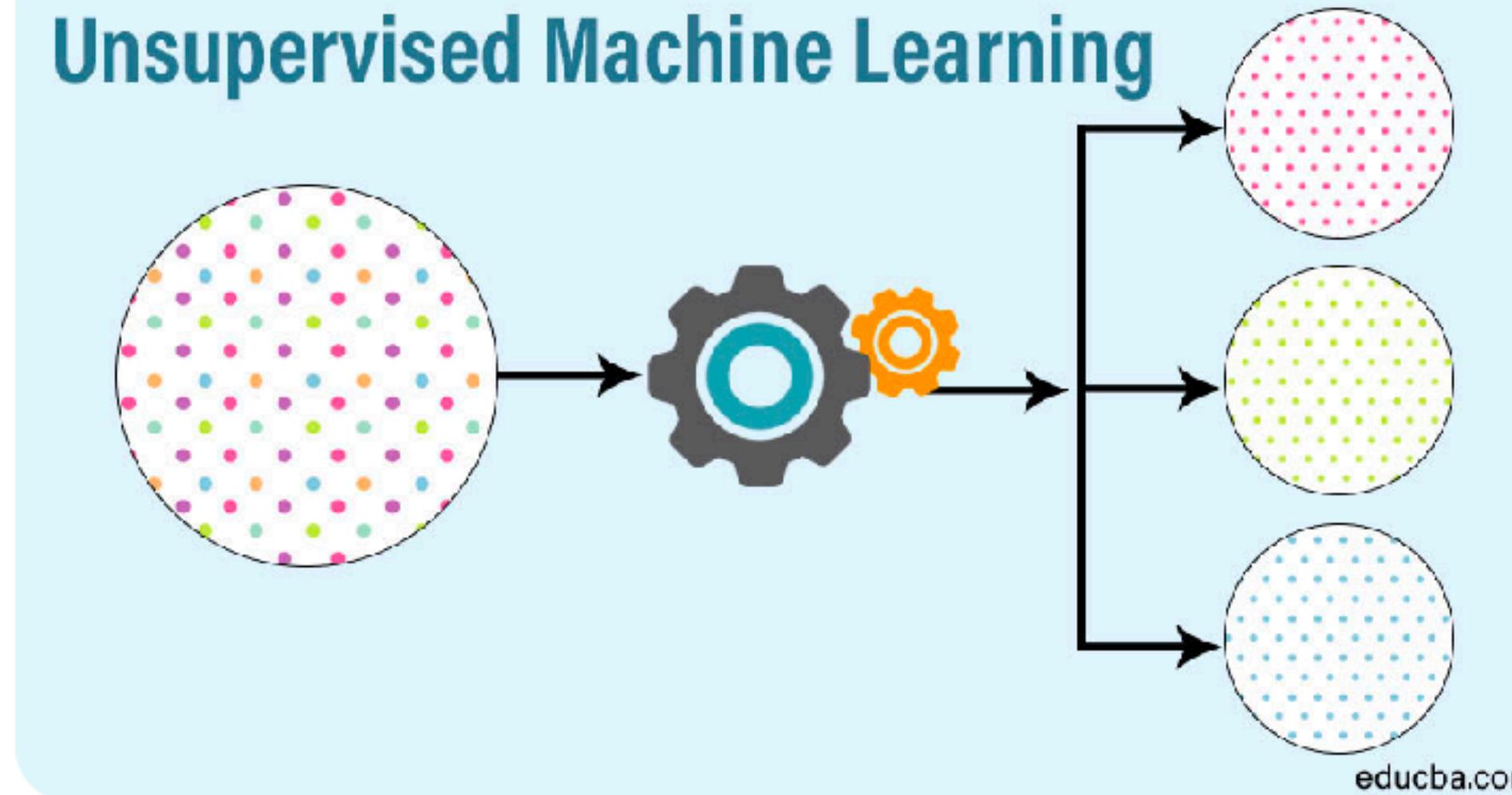
supervised learning

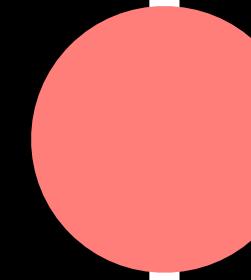
unsupervised learning

Unsupervised Learning

Negli algoritmi di unsupervised learning (o clustering):

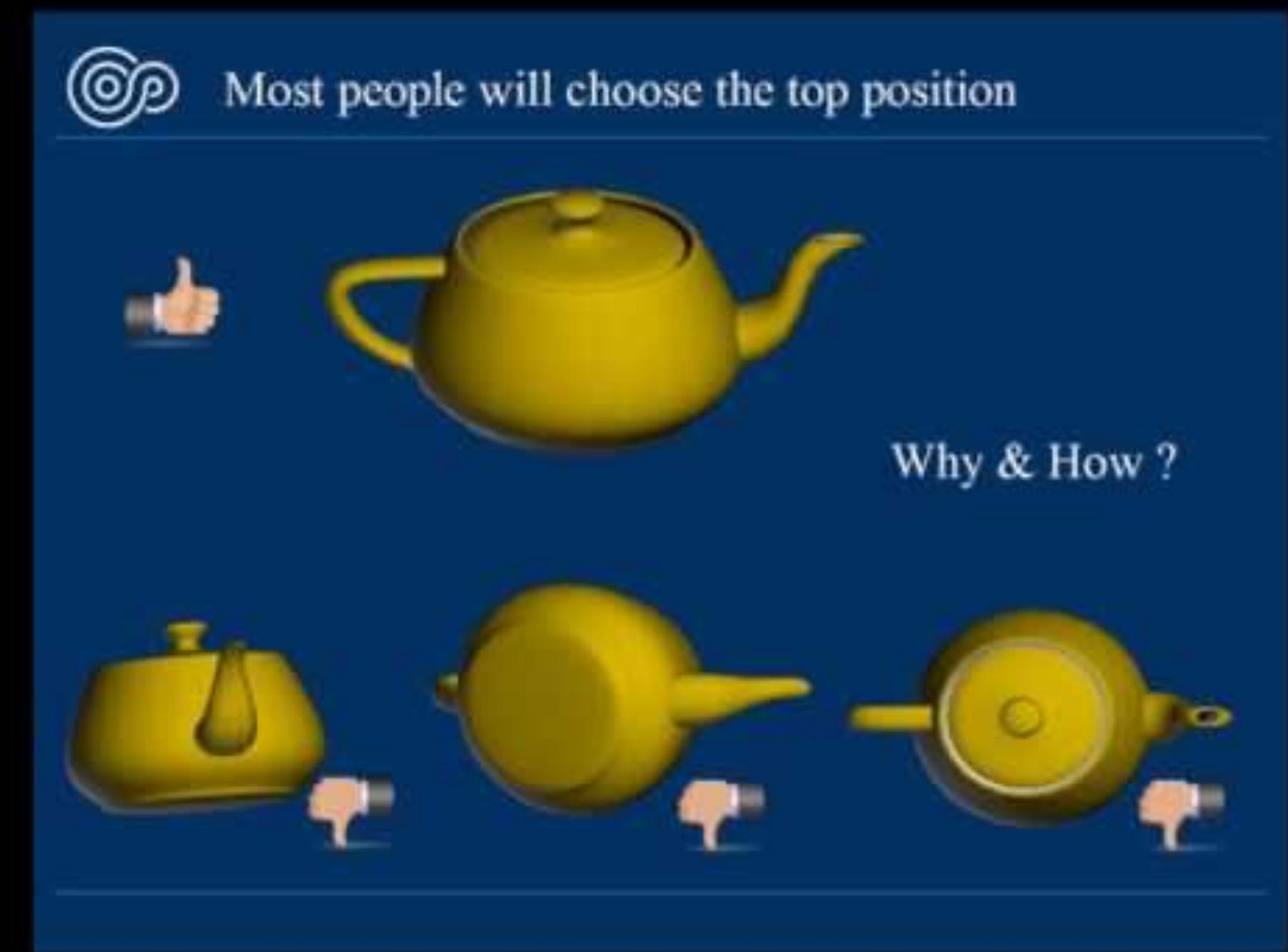
- l'obiettivo è stabilire se esistono delle classi o "cluster" nei dati.
- Non vi sono classi precostruite ma ne cerchiamo l'esistenza tramite l'analisi stessa





PCA Algorithm

- Il machine learning non supervisionato più comune è il PCA (Principal Component Analysis) il quale viene utilizzato in molti campi diversi, tra cui riconoscimento facciale e identificazione delle immagini
- Permette di interpretare grandi quantità di dati ricorrendo ad un numero molto piccolo di componenti



KIII Algorithm

- KIII è una rete neurale artificiale (ANN).
- KIII permette di restituire come output le onde elettroencefalografiche simili a quelle osservate tramite esperimenti elettrofisiologici

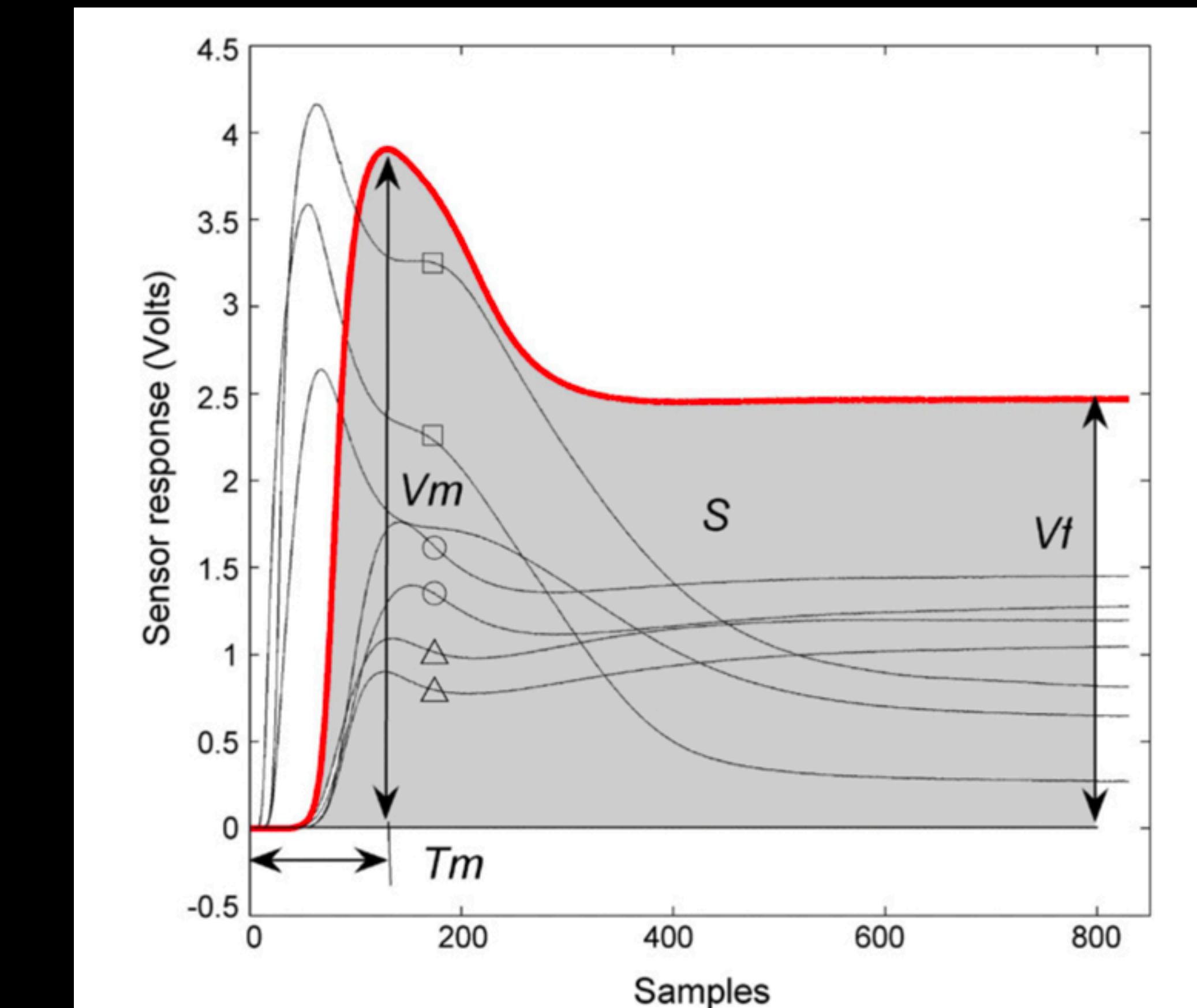


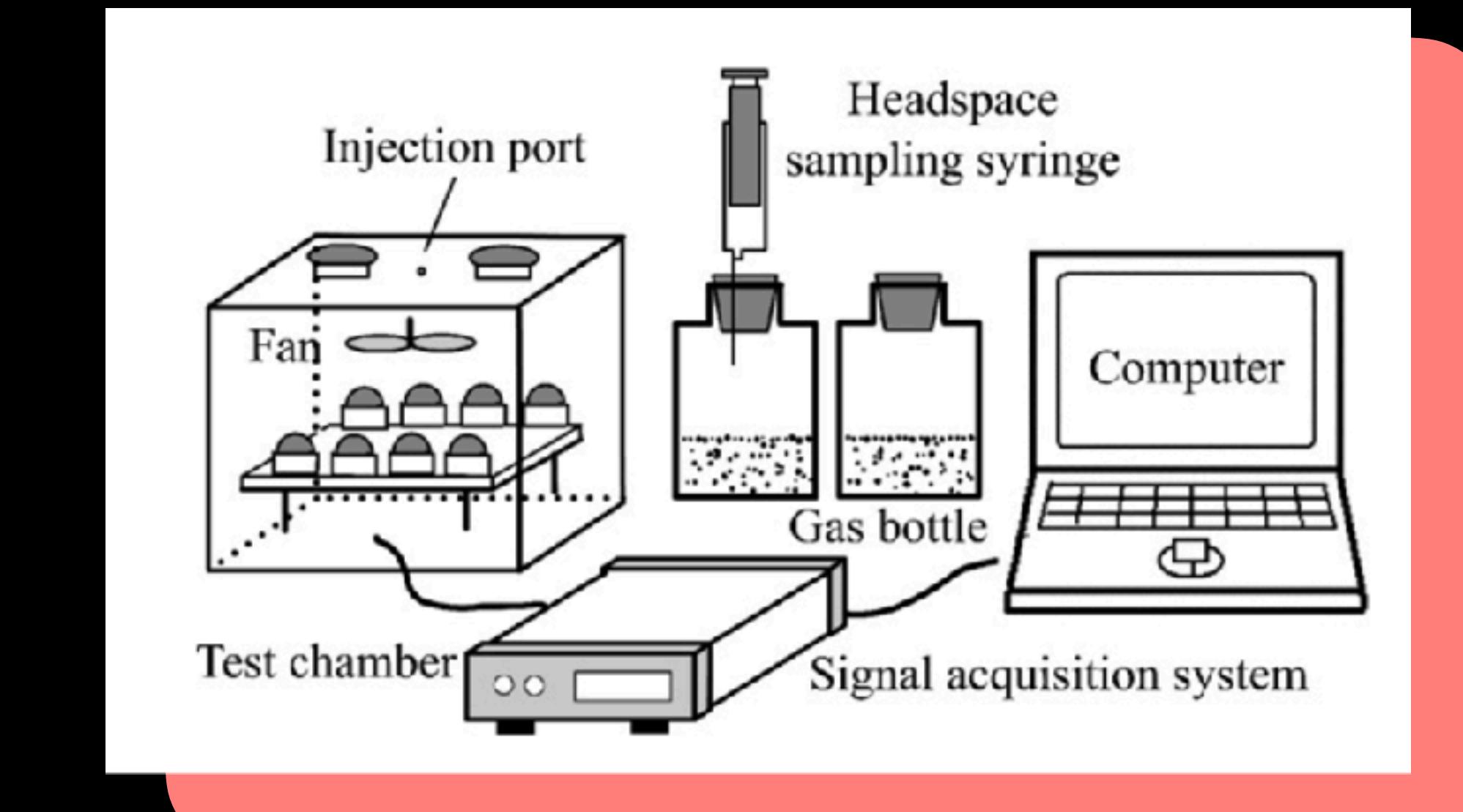
Fig. 2. A typical output of the sensor array. Features extracted from the response of one sensor are indicated as V_m , T_m , V_f and S . The curves marked with the same symbol (\square , \circ and Δ) were obtained from the same type sensors.

Esperimento

- Abbiamo preso in considerazione un documento del dipartimento di ingegneria biomedica di Hangzhou (cina)
- L'esperimento si propone di identificare tramite un naso elettronico 6 composti organici volatili (VOCs) presenti all'interno del vino di riso cinese

Materiale

- 8 sensori MOS
- un set di circuiti per acquisizione tra cui un 12bit convertitore analogico digitale
- un computer IBM
- 6 composti volatili

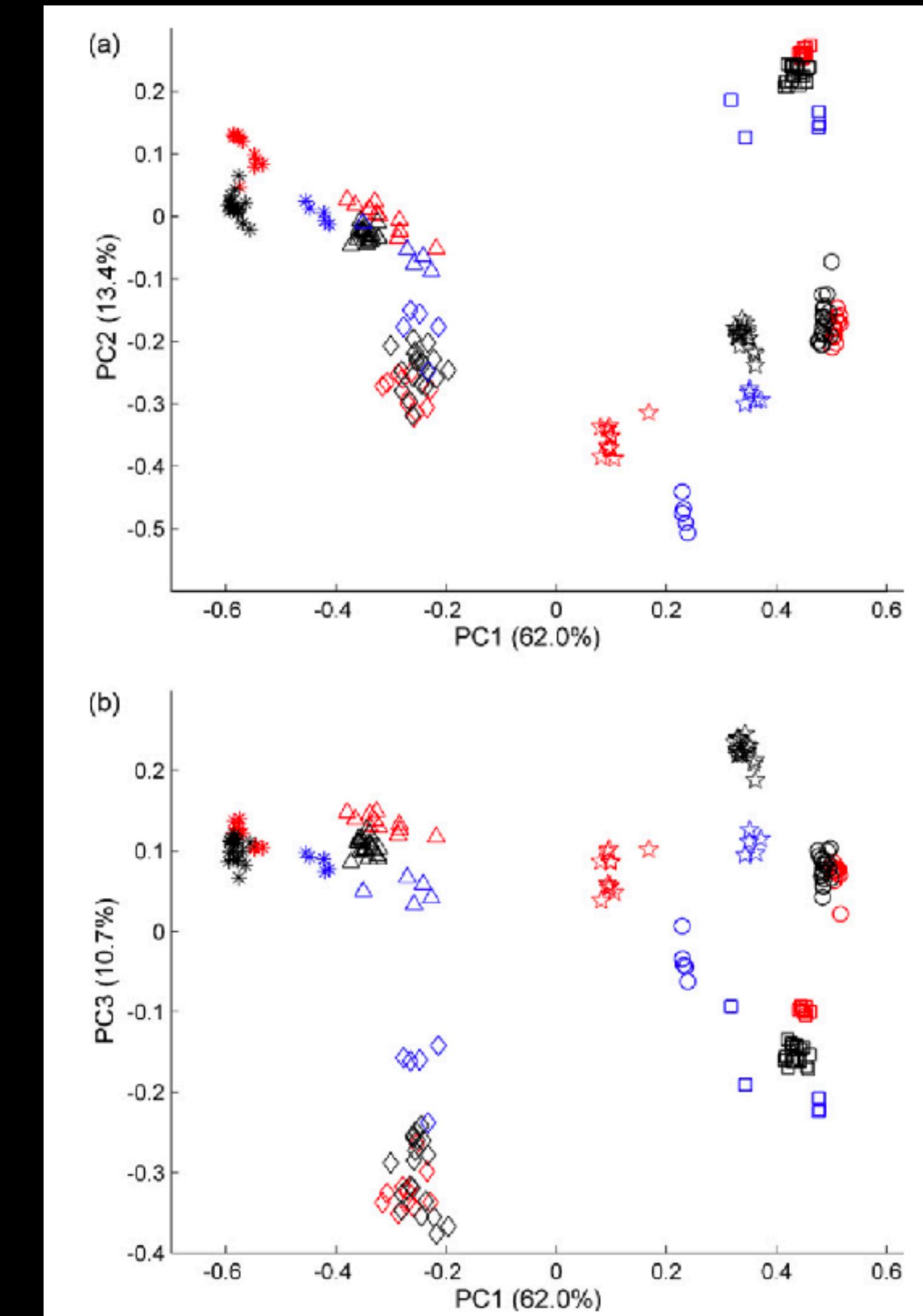


Svolgimento

- 20 tentativi per sensore

- esperimento ripetuto 1 mese e 3 mesi
dopo il primo
- concentrazioni differenti (30/3000
mL, 50/3000 mL , 70/3000mL)

	30 mL/3000 mL	50 mL/3000 mL	70 mL/3000 mL
Lactic acid	100	100	100
Ethanol	50.0	100	66.7
Acetic acid	100	91.7	75.0
Ethyl acetate	100	100	100
Isoamyl alcohol	75.0	100	100
Acetaldehyde	100	100	100
Average	87.5	98.6	90.3



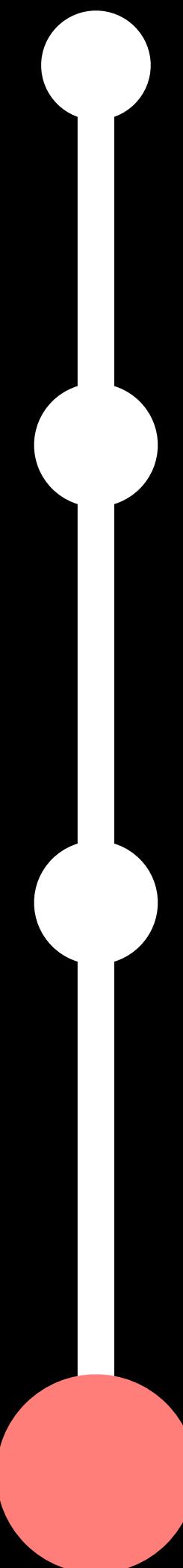
Obiettivi e Conclusioni

- Obiettivo: testare l'efficacia della KIII al variare di tempo e concentrazione dei composti analizzati
- Conclusioni: buone prestazioni nella classificazione di composti con differenti concentrazioni e grande capacità nell'identificazione di pattern (fino ad un mese prima del rilevamento)

Classification correction rates (%) of Datasets I, II and III using the KIII, NPA and BP-NN

	Dataset I (May)			Dataset II (June)			Dataset III ^a (August)		
	KIII	NPA	BP-NN	KIII	NPA	BP-NN	KIII	NPA	BP-NN
Lactic acid	85.0	100	87.7	98.0	100	78.3	50.0	83.3	48.6
Ethanol	100	100	100	100	100	87.6	100	100	62.0
Acetic acid	100	100	86.3	100	100	74.5	86.7	100	52.6
Ethyl acetate	100	100	100	100	100	99.3	0	0	44.6
Isoamyl alcohol	100	100	97.3	100	100	86.5	86.7	93.3	52.0
Acetaldehyde	100	100	86.0	65.0	0	18.3	46.7	0	28.7
Average	97.5	100	92.9	93.9	83.3	74.1	61.6	62.7	48.1

^a Only the samples with concentration of 30 mL/3000 mL in Dataset III are used to make the results comparable with Datasets I and II.



Il sistema olfattivo umano

Cos'è un naso elettronico

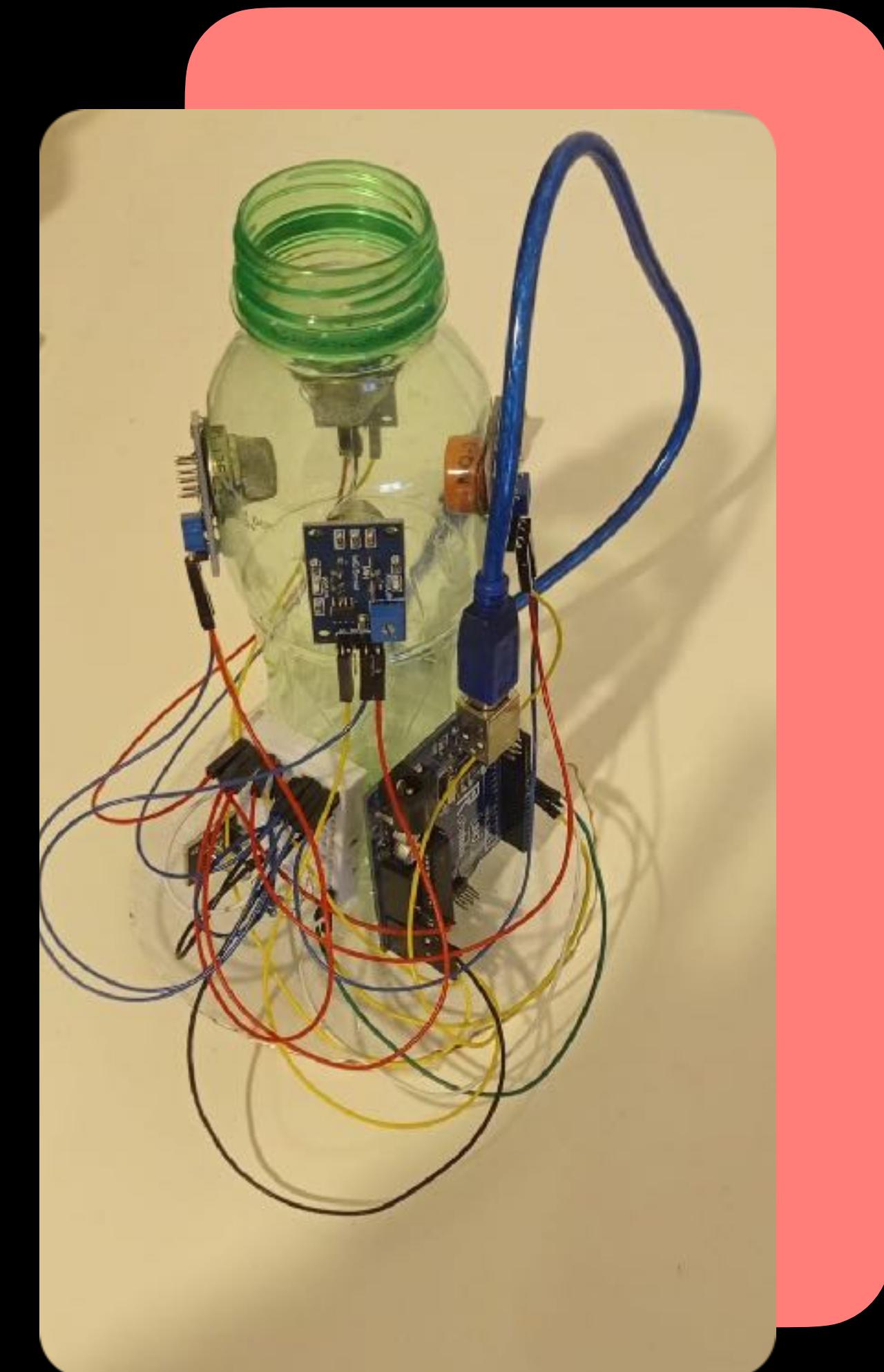
Algoritmi di pattern matching

Costruire un naso elettronico

Creare un naso artificiale: l'idea

Abbiamo voluto portare un esempio pratico di naso artificiale. Consapevoli delle limitazioni tecniche ed economiche, abbiamo deciso di realizzare un naso elettronico che:

- fosse basilare
- avesse una componente concreta, analogica
- mostrasse visivamente l'olfatto digitale



Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

sensori

Python

Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

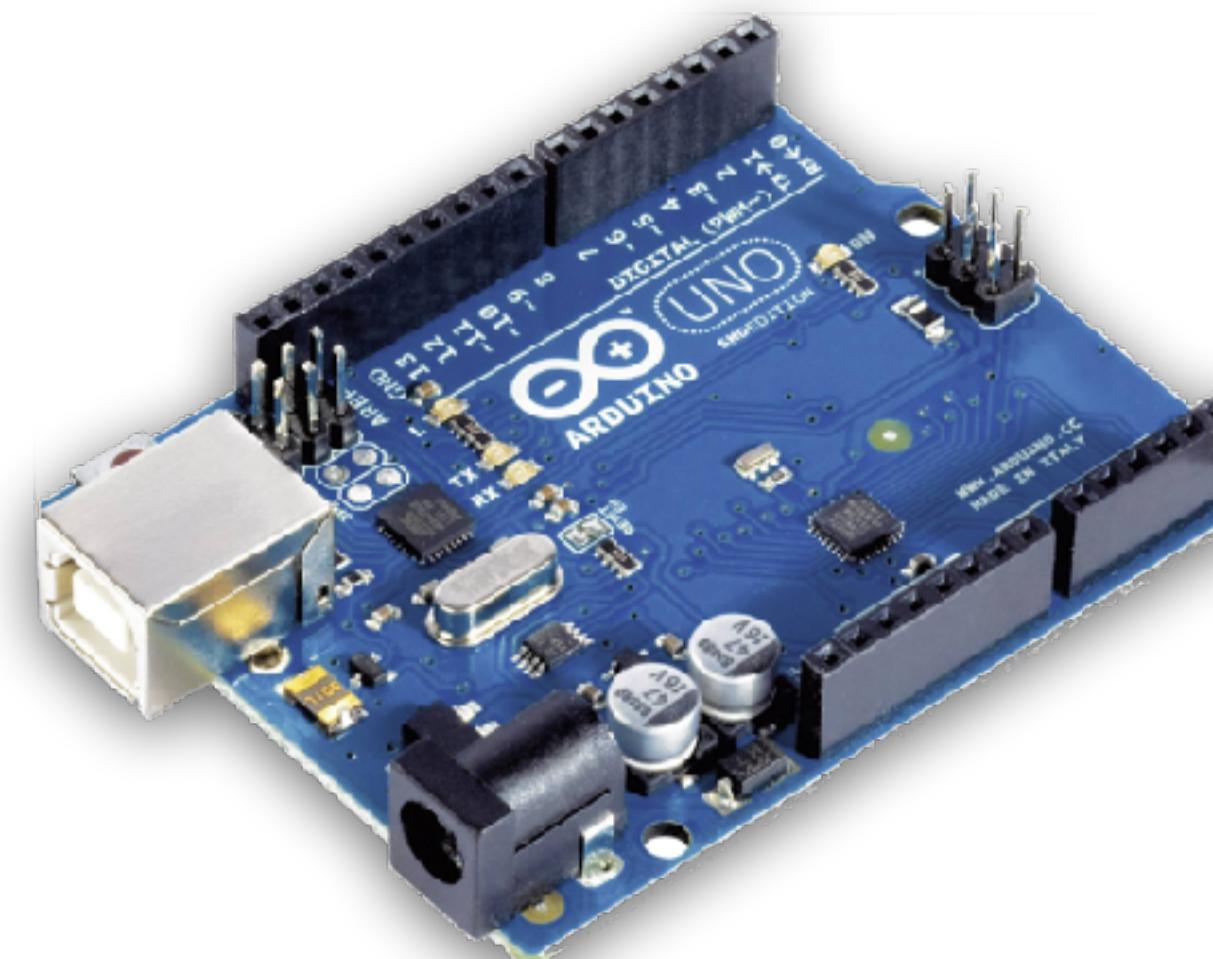
sensori

Python

Arduino

Caratteristiche di Arduino:

- scheda hardware dotata di microcontrollore
- prototipazione di piccoli/medi progetti didattici e professionali
- lettura di dati analogici tramite un convertitore ADC
- scrittura e lettura di dati digitali



Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

sensori

Python

Sensori MQ

Abbiamo utilizzato sensori normalmente adoperati per il monitoraggio di perdite in abitazioni e fabbriche idoneo alla rilevazione di gas, butano, propano, metano, fumo. Nello specifico:

- Sensore MQ-2
- Sensore MQ-3
- Sensore MQ-5
- Sensore MQ-135

Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

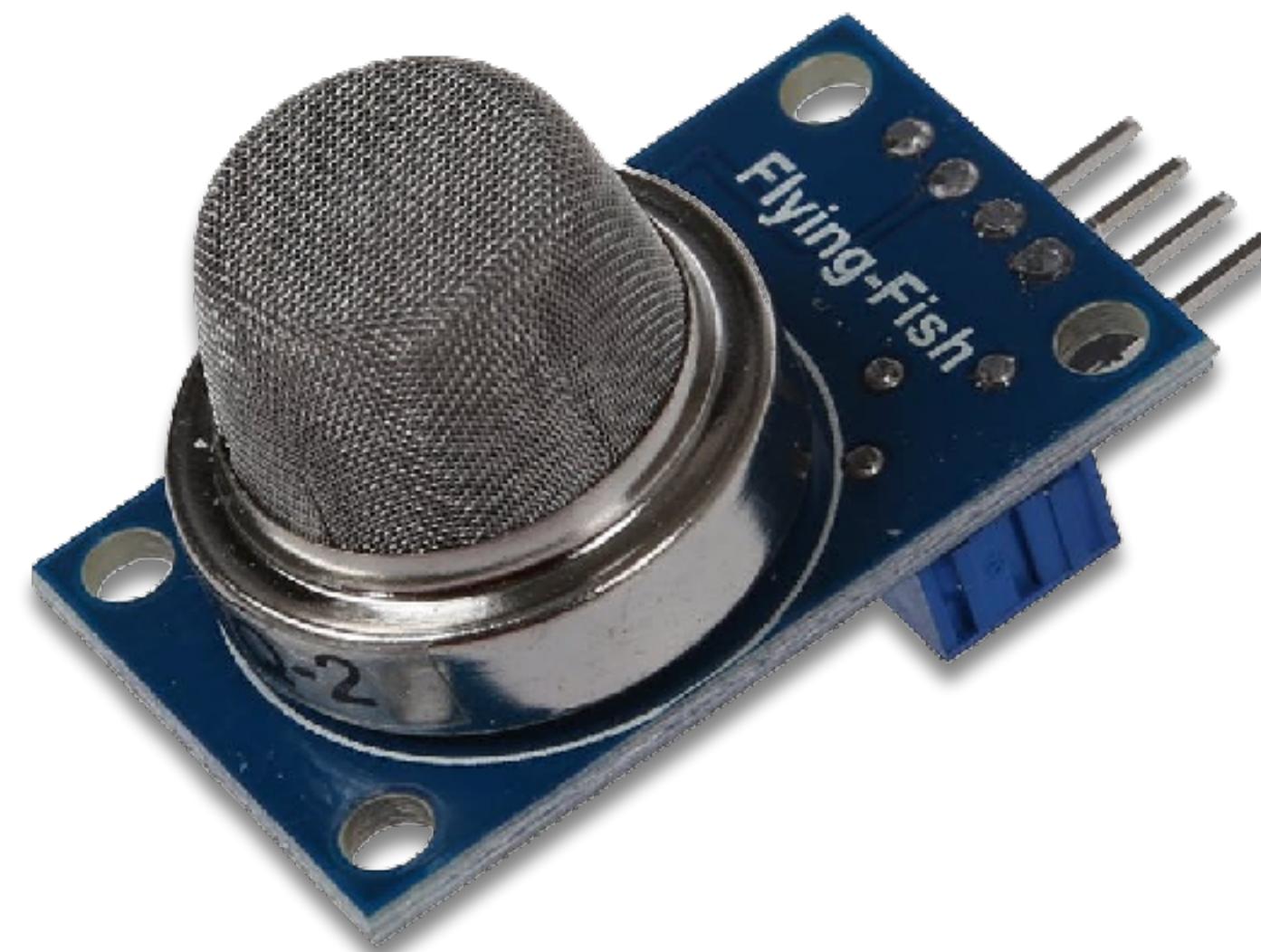
sensori

Python

Sensore MQ-2

Sensore utilizzabile per misurare le concentrazioni di GPL, di metano, di alcool, di idrogeno e di fumo. Può essere usato per rilevare perdite di gas in ambienti familiari e industriali:

- rilevamento di GPL, butano, propano, metano ,alcool, idrogeno, fumo



Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

sensori

Python

Sensore MQ-3

Sensore dotato di una elevata sensibilità e di un tempo di risposta molto rapido, questo sensore è in grado di rivelare la concentrazione di alcool nel sangue attraverso il respiro, proprio come un comune etilometro



Componenti

I componenti utilizzati
(hardware e software):

arduino

sensori

Python

Sensore MQ-5

Il Modulo Sensore di Gas MQ-5 è molto sensibile al GPL e al gas di città e moderatamente sensibile all'alcool e al fumo. Può essere usato per rilevare perdite di gas in ambienti familiari e nell'industria.

- rilevamento GPL, gas naturali , gas cittadini, vapori dell'alcool, odori di cucina e fumo di sigarette



Componenti

- I componenti utilizzati (hardware e software):

arduino

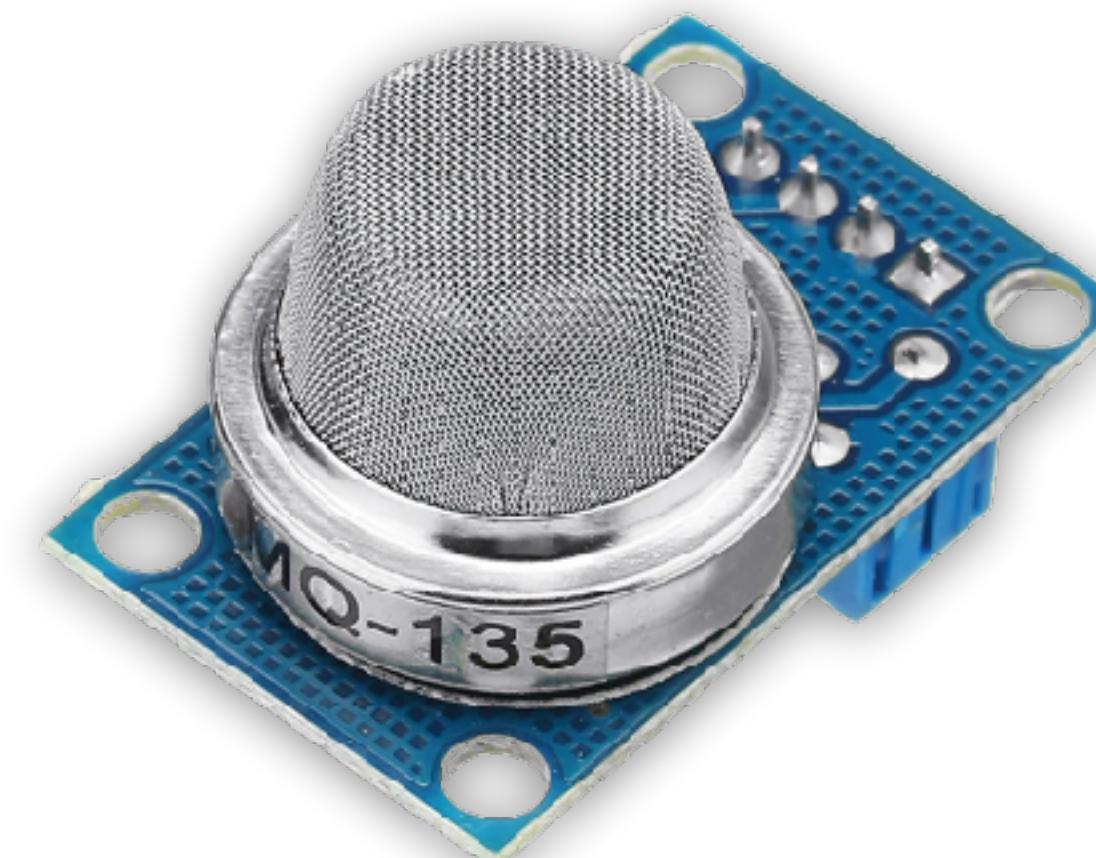
sensori

Python

Sensore MQ-135

Il Modulo Sensore di Gas MQ-135 viene utilizzato per la verifica della qualità dell'aria, ha una alta sensibilità ai vapori di ammoniaca, agli ossidi di azoto dovuti alla combustione ed al benzene, è anche sensibile al fumo e ad altri gas nocivi

- rilevamento NH₃(ammoniaca), NO_x(ossido di azoto), alcol, Benzene, fumo, CO₂



Componenti

- I componenti utilizzati (hardware e software):

arduino

sensori

Python

Python

Linguaggio programmazione ad alto livello orientato ad oggetti e anche procedurale utilizzabile su più piattaforme. Permette inoltre:

- Sviluppo di AI
- Analisi Dati ed estrazione di informazioni utili

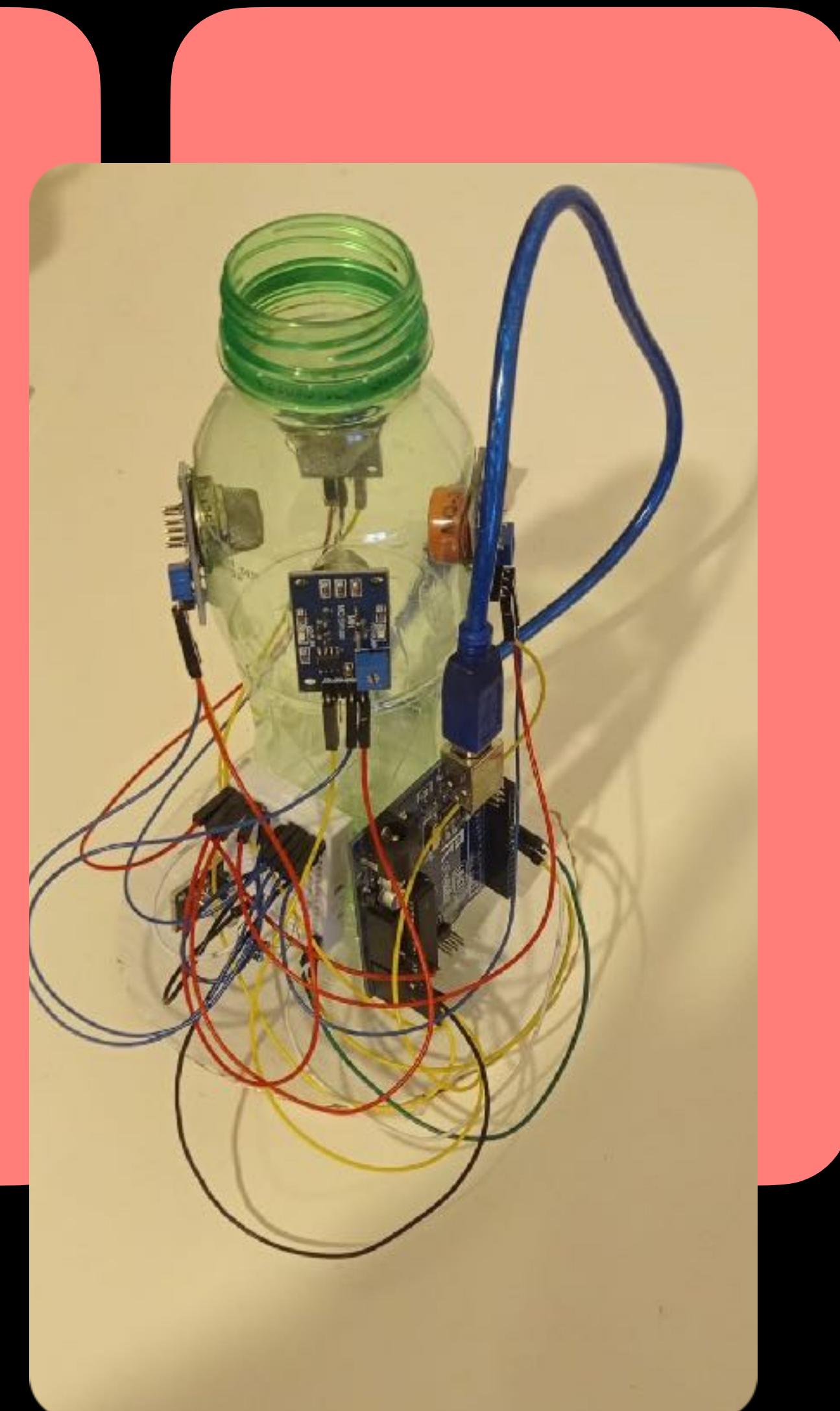
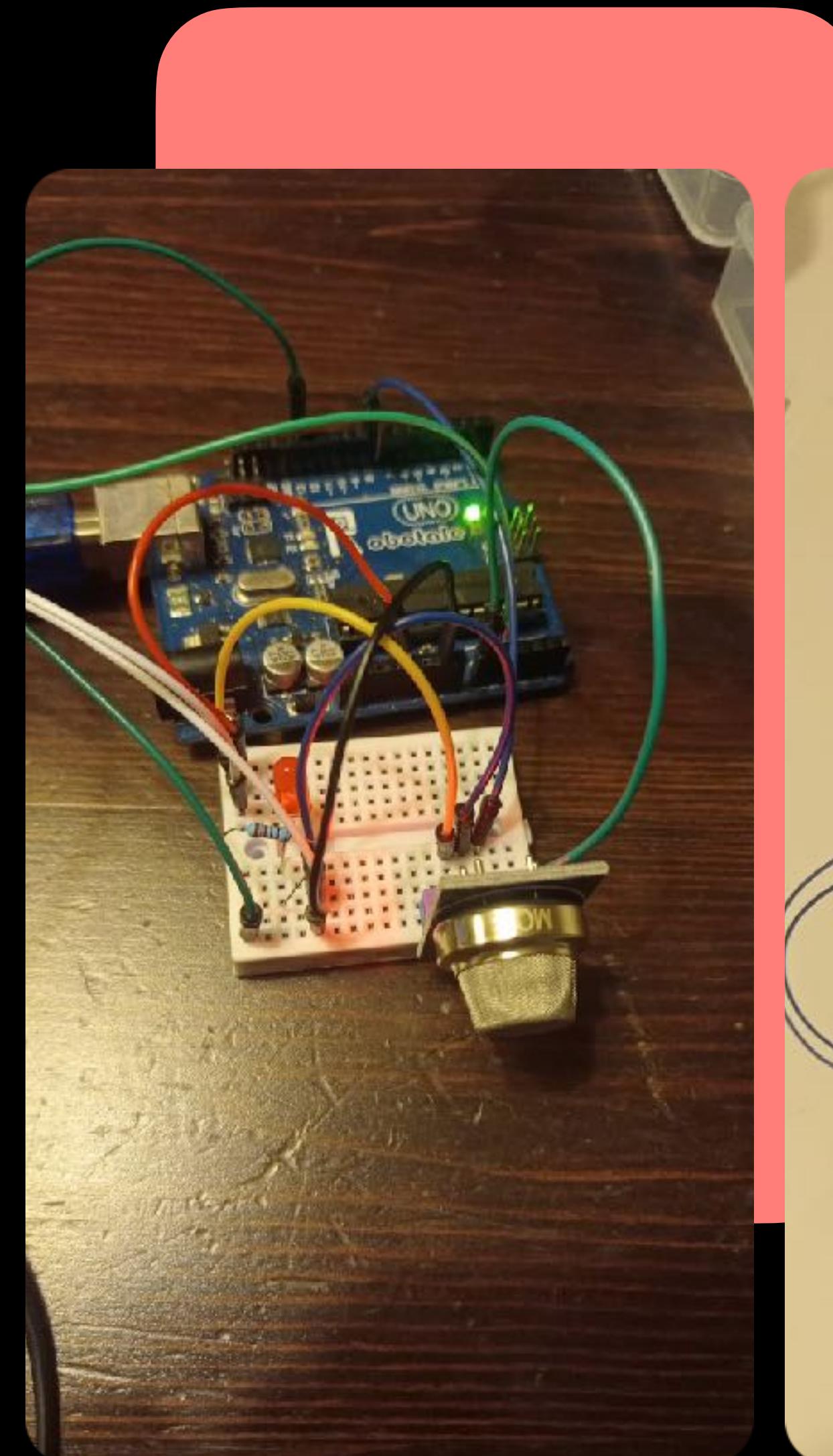
Abbiamo utilizzato le seguenti librerie:

- Pandas
- Matplotlib



Procedimento

- Acquisto dei componenti (amazon)
- Testing dei sensori
- Assemblaggio del Naso Artificiale



Video

