

# **SPEye (Occhio Bionico)**

**Presentazione Commissione V**

**05 giugno 2020**

**Paolo W. Cattaneo a nome del gruppo Occhio\_Bionico  
Sezioni Pavia, Genova**

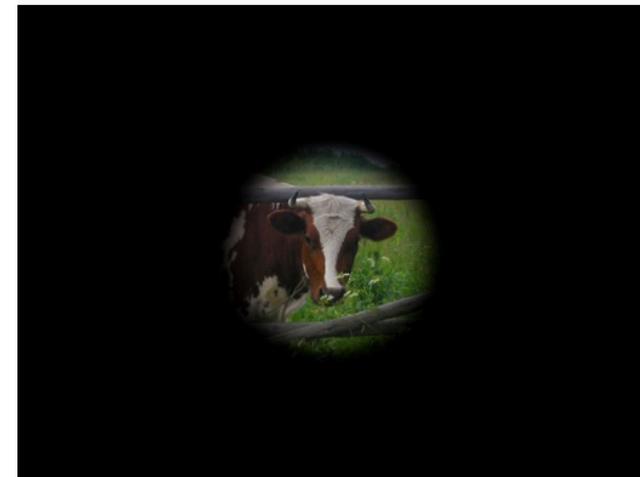
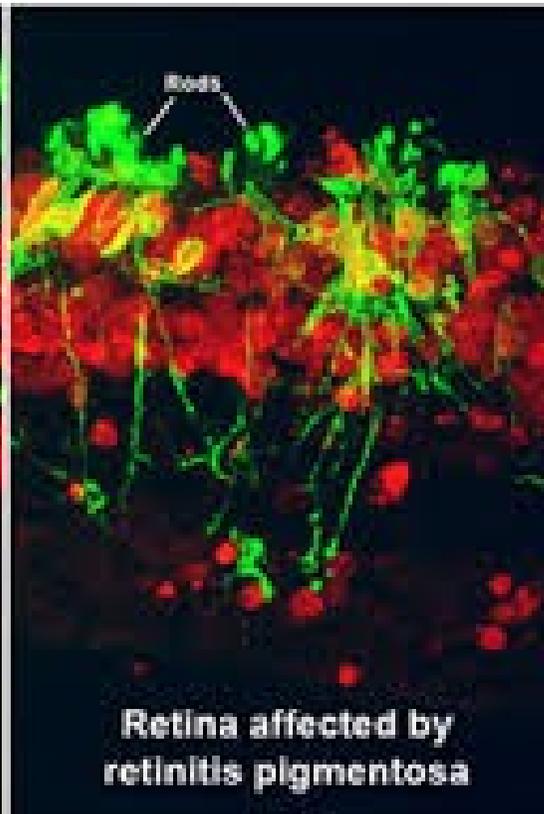
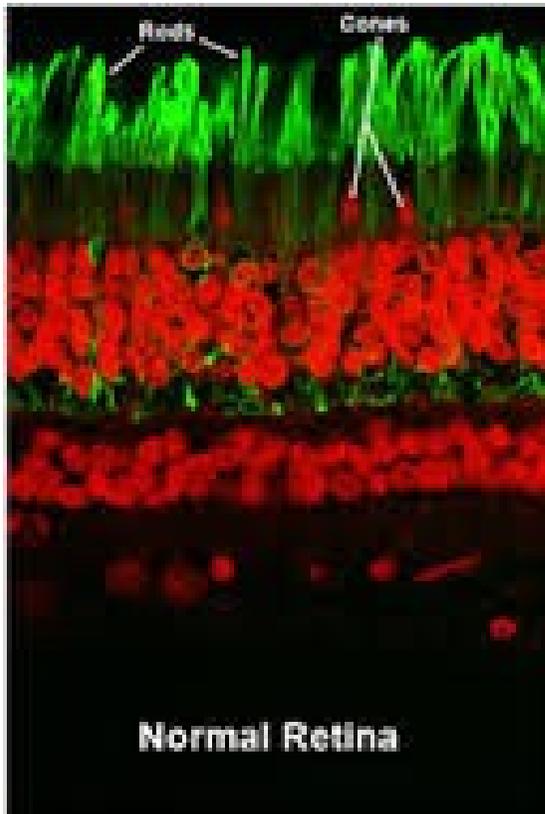
**Proposta di esperimento in corso d'anno**

# Retinite pigmentosa

La retinite pigmentosa è una malattia degenerativa della retina di natura genetica che porta gradualmente alla perdita graduale della vista, partendo dalla vista periferica, a causa della degenerazione di coni e bastoncelli fino alla cecità.

Colpisce circa 1/4000 persone. Non ci sono cure.

Visione a tunnel



# Choroidermia e Degenerazione Maculare

Degrado della retina si ha anche con la Coroidermia (più rara) e con la degenerazione maculare connessa all'età (AMD) che colpisce fino al 12% della popolazione oltre gli 80 anni.



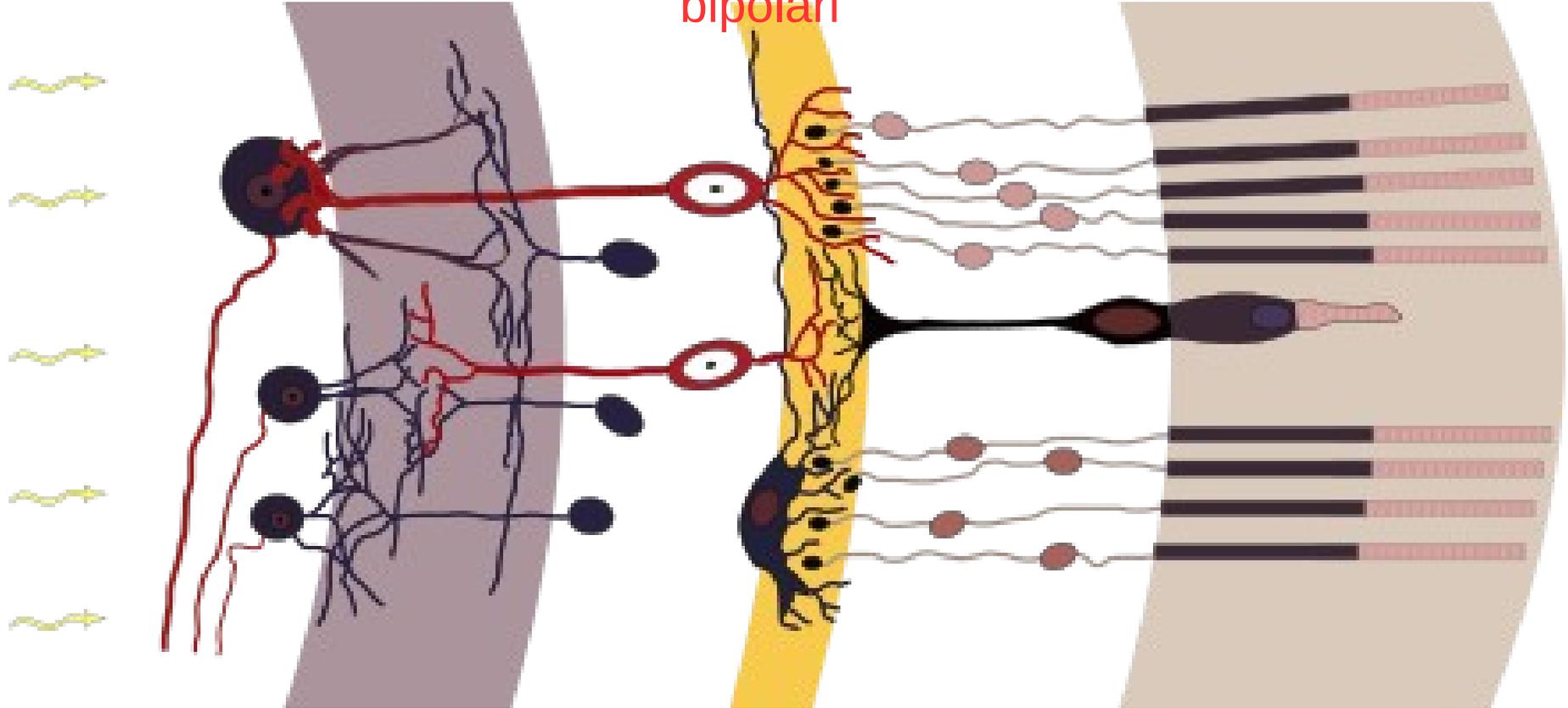
# Retina

Luce

Cellule gangliari

Cellule orizzontali/  
bipolari

Coni e bastoncelli



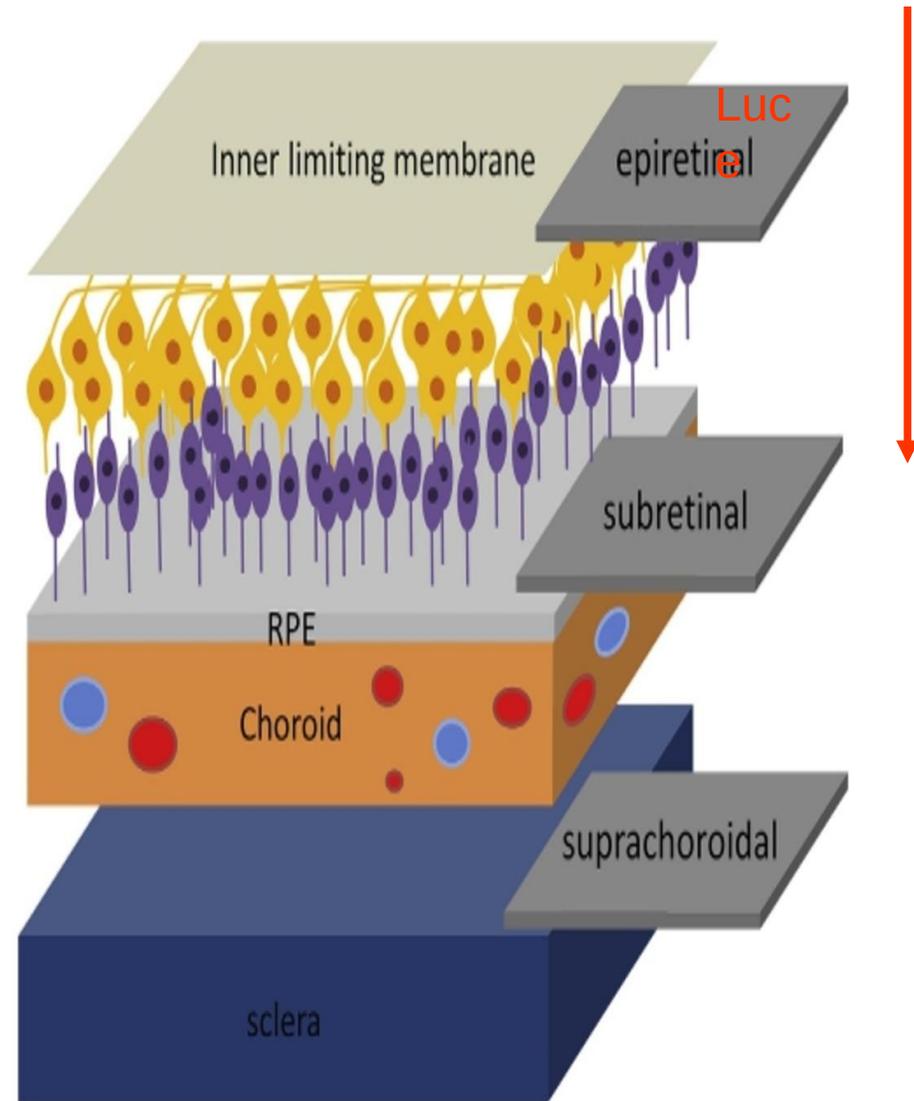
Nervo ottico

# Retina artificiale (I)

Per alcune malattie una protesi visuale è l'unica soluzione per recuperare parzialmente la vista.

Le protesi si dividono in:

- Epiretينية: sopra lo strato più interno della retina
- Subretينية: tra la retina e la coroide
- Supracoroidali: tra la coroide e la sclera



**Fig. 3.** Illustration of the implantation sites of the epiretinal, subretinal and suprachoroidal prostheses. Ganglion cells (yellow) and bipolar cells (purple) are shown and damaged/eliminated photoreceptors are not shown.

# Protesi artificiali

- Epiretinarie: sopra lo strato più interno della retina

● ARGUS (Second Sight Medical Product)

● IMI-IRIS (Intelligent Medical Implant-Intelligent Retinal Implant System)

● EPI-RET3 (EpiRetinal 3)

- Subretinarie: tra la retina e la coroide

● BRIP (Boston Retinal Implant project)

● ASR (Artificial Silicon Retina)

● PRIMA (Photovoltaic Retinal Implant)

● AlphaIMS (Retina Implant AG, Germany)

- Supracoroidali: tra la coroide e la sclera

● STS (Suprachoroidal-Transretinal Stimulation)

● BVA (Bionic Vision Australia)

# ARGUS (epiretinica)

Argus commercializzato da SecondSight.  
Autorizzato in USA e in trail clinico in UE.  
Immagine catturata da una telecamera  
esterna che processa il segnale e lo invia  
via wireless in un circuito con un impianto  
epiretinico.  
Recupero molto parziale della vista.

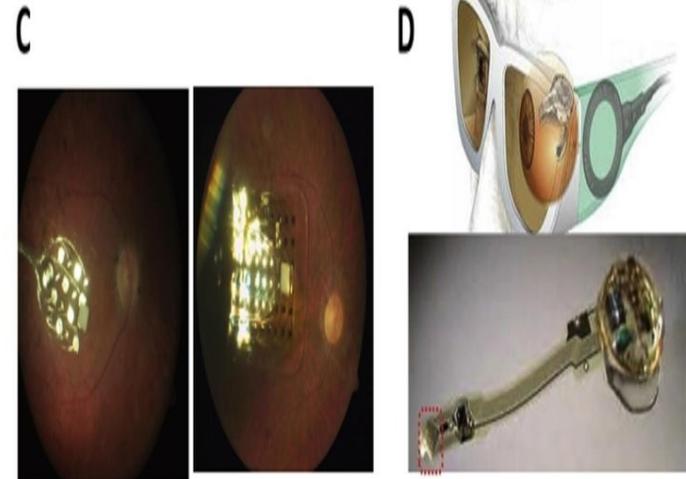
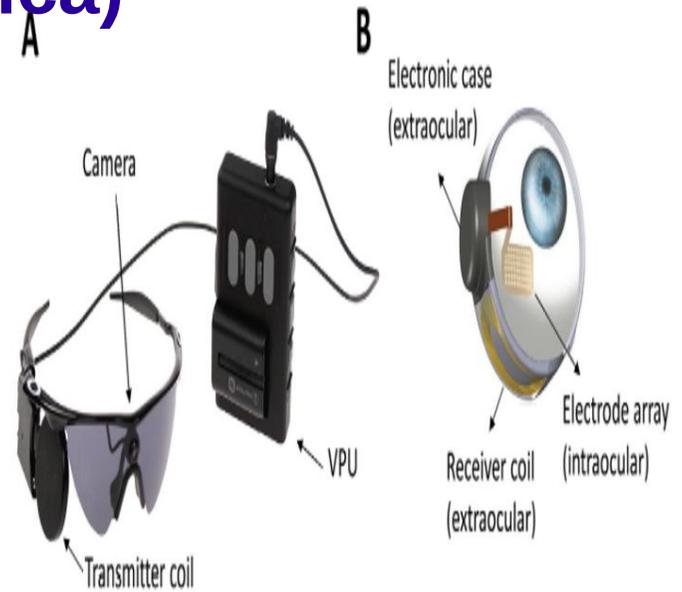
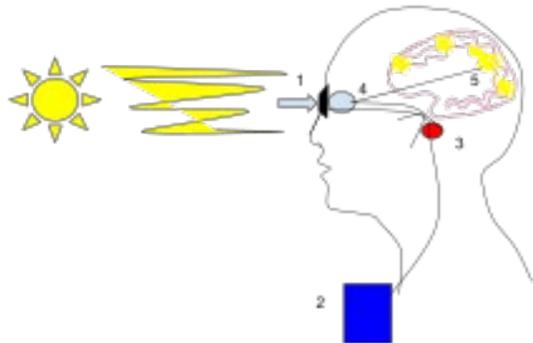
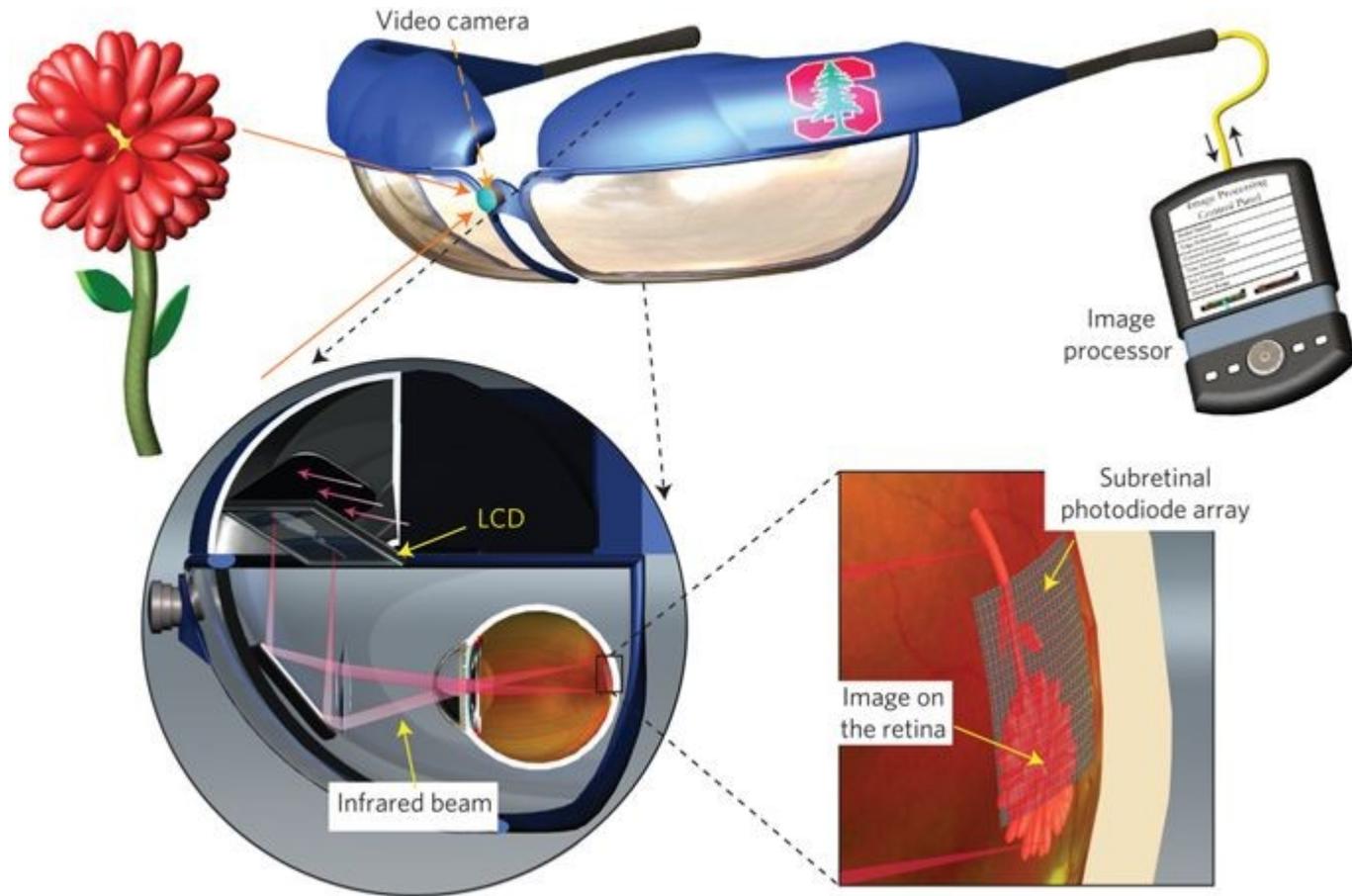


Fig. 4. Epiretinal prostheses. (A, B) External (A) and implant (B) part of the Argus II system. (C) Electrode array of the Argus I (left) and Argus II (right) implant, containing 16 electrodes, respectively. (D) Schematic drawing of the IML system and the implant prototype. The stimulating array is circled in red. Images adapted from Hornig et al. (2010)

# PRIMA (Photovoltaic Retinal Implant, sub(epi)retinica)

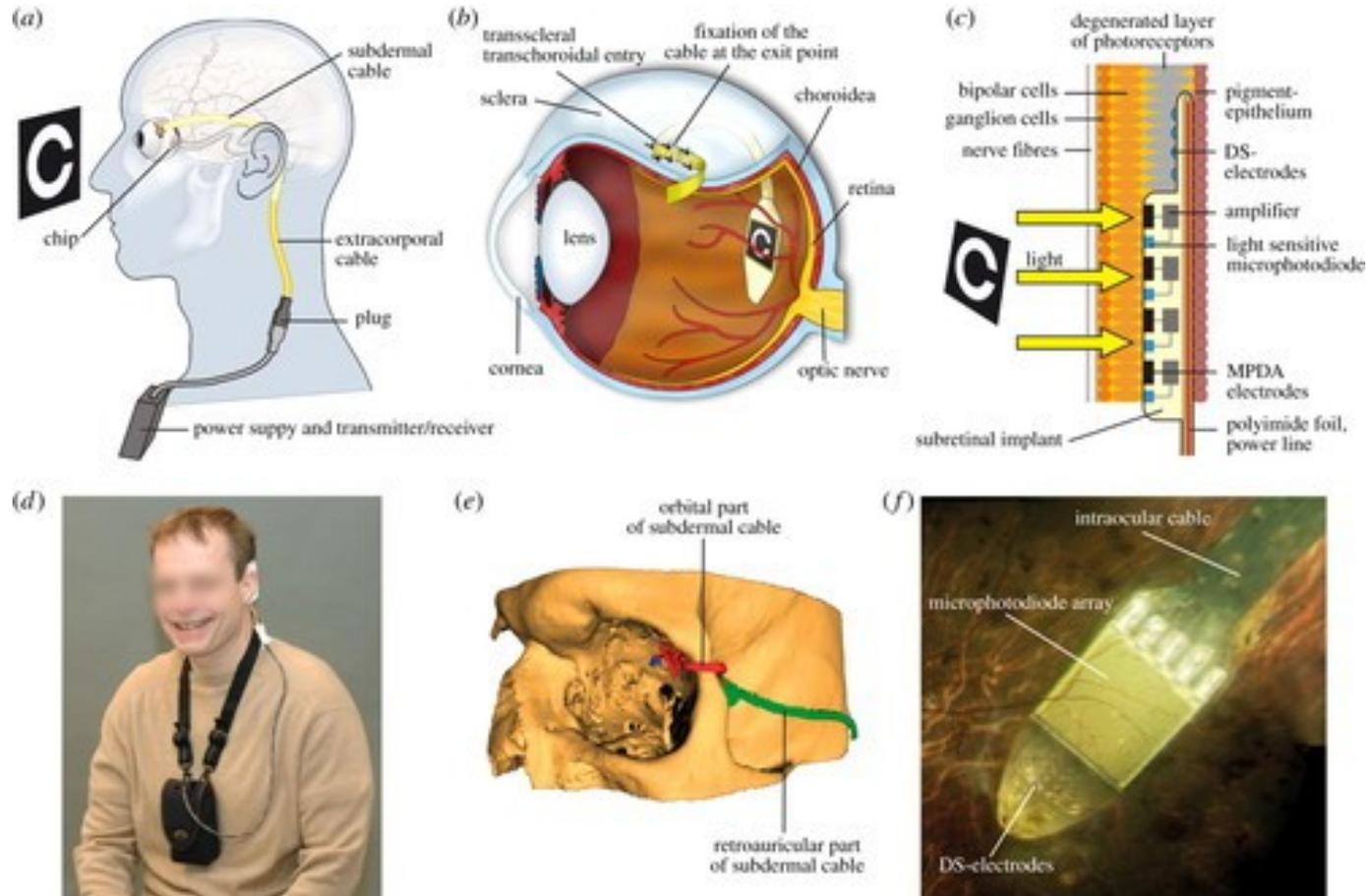
Nature Photonics Vol.6 (2012) 391



# Alpha IMS (subretinica)

Proc. R. Soc. B (2011) 278, 1489 **Array di fotodiodi con amplificazione.**

Vision Research 111 (2015) 149



Già in test clinico da qualche anno.

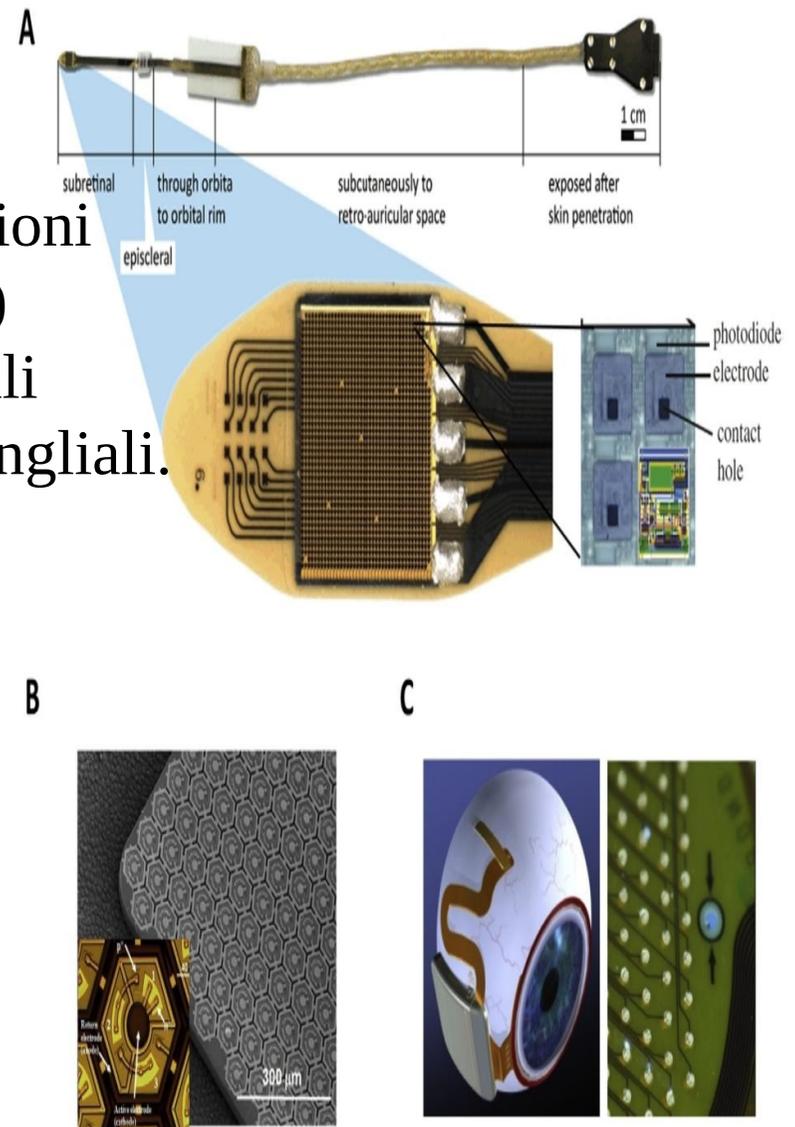
[www.repubblica.it/salute/ricerca/2018/02/05/news/primo\\_impianto\\_di\\_retina\\_artificiale\\_in\\_italia-188086473/](http://www.repubblica.it/salute/ricerca/2018/02/05/news/primo_impianto_di_retina_artificiale_in_italia-188086473/)

San Raffaele Milano Prof. Codenotti. Già contattato e disponibile a collaborare.

# Alpha IMS

La soluzione ideale è una protesi visuale costituita da un array di fotodiodi di dimensioni comparabili ai coni e bastoncelli (pochi  $\mu\text{m}$ ) con impianto **subretinale** che passino segnali elettrici al nervo ottico tramite le cellule gangliari.

Il segnale dei fotodiodi non amplificato è troppo basso per stimolare i neuroni e va amplificato.



**Fig. 5.** Subretinal prostheses. (A) Prototype of the Alpha-IMS predecessor, an investigational device that includes 16 additional electrodes for direct stimulation. The overview of the implant (top) and the detailed view of the microphotodiode array (MPDA) with an additional  $4 \times 4$  array of the TiN electrodes attached to the end (bottom). The MPDA chip consists of 1500 photodiodes on a surface area of  $3 \times 3$  mm. Figure from Zrenner et al. (2011). (B) MPDA of the photovoltaic prosthesis developed by the Palanker group. Inset: blown-up view of a single stimulating element with 3 photodiodes in series. Images from Wang et al. (2012). (C) Prototype of the 256-channel Boston retinal implant. Left: concept of the device with the secondary coil surrounding the cornea. Right: electrodes bonded to the feedthrough of the hermetic case. Images from Kelly et al. (2013).

## Progetti sul mercato

- Ci sono due soluzioni sul mercato (o vicini):
  - ARGUS II (Second sight Medical <http://www.secondsight.com/>)
  - Alpha IMS (Retina Implant AG; <http://www.retina-implant.de/en/>)

I prezzi per ARGUS sono ~150000 \$ + l'operazione chirurgica.

Alpha IMS: già in test clinico da qualche anno.

Anche in Italia:

[www.repubblica.it/salute/ricerca/2018/02/05/news/primo\\_impianto\\_di\\_retina\\_artificiale\\_in\\_italia-188086473/](http://www.repubblica.it/salute/ricerca/2018/02/05/news/primo_impianto_di_retina_artificiale_in_italia-188086473/)

San Raffaele Milano Prof. Codenotti. Già contattato e disponibile a collaborare.

## Proposta di protesi subretinale

La tecnologia più prossima a questa proposta è la Alpha IMS.

In alternativa ai fotodiodi uso di SiPM (Silicon Photomultiplier) arrays di alcuni mm<sup>2</sup> di SPAD (Single Photon Avalanche Diode) in modalità Geiger con una amplificazione interna  $\sim 10^{5-6}$ .

La potenza richiesta è bassa può essere fornita dall'esterno con accoppiamento induttivo.

La tecnologia proposta migliora Alpha IMS nei seguenti punti:

- Niente preamplificatori grazie all'alto guadagno degli SiPM
- Minore potenza
- La miniaturizzazione degli elettrodi non richiede potenza addizionale
- Guadagno programmabile dall'esterno con la tensione  $V_{OV}$ .

# Vertis Proof of Concept (POC)

**SPAD arrays as visual prosthesis for  
Retinitis Pigmentosa and AMD**

POC al bando Vertis per un finanziamento da Venture Capitalist.  
Uno dei 4 progetti INFN ammesso alla discussione orale.  
Ritenuto molto interessante ma da sviluppare in una fase di R&D.

# Working Packages

## ➤ WP1: Coordinamento

Coordinamento delle diverse attività e della gestione delle informazioni all'interno del gruppo. Suddiviso in 3 task.

### ● Task 1.1 Coordinamento del Progetto

● SPEye è un progetto fortemente interdisciplinare che richiede un costante coordinamento tra i gruppi di ricerca.

### ● Task 1.2 Riunioni di Progetto

● Organizzare riunioni semestrali plenarie e frequenti riunioni più ristrette

### ● Task 1.3 Sito Web

● Sito dedicato presso Unipv per la divulgazione informazioni dentro e fuori al gruppo inclusa divulgazione.

## ➤ WP2: Realizzazione fisica della Protesi Retinica

● Progettazione, realizzazione e caratterizzazione dei componenti della protesi retinica. Suddiviso in 4 task.

### ● Task 2.1 Caratterizzazione Ottica ed Elettrica Preliminare dei SiPM

● Calcolo e misura del campo elettrico e della potenza dei SiPM esistenti.

### ● Task 2.2 Realizzazione di Matrici di Elettrodi su PCB

● Matrici di elettrodi su PCB per studiare la risposta delle cellule nervose.

### ● Task 2.3 Progettazione e Realizzazione di Matrici di SiPM Ottimizzate

● Realizzazione di matrici SiPM custom in collaborazione con FBK.

### ● Task 2.4 Circuito di Alimentazione

● Progetto e realizzazione del circuito di alimentazione dei SiPM remoto.

# Working Packages

## ➤ **WP3: Interfacciamento Elettrico-Neurale**

### ● **Task 3.1 Caratterizzazione del Campo Elettrico in Soluzione Salina**

● Studio del campo elettrico in soluzione salina che simuli il funzionamento in tessuto biologico

### ● **Task 3.2 Ottimizzazione della Stimolazione alle Cellule Bipolari**

● Ottimizzazione della stimolazione delle cellule bipolari di retina di coniglio con generatore di segnale e microelectrode array (MEA).

### ● **Task 3.3 Stimolazione Retinica con Matrice SiPM**

Sulla base dei risultati Task 3.2 uso di array SiPM ottimizzato stimolato otticamente per la stimolazione di retine di coniglio.

# WP e responsabilità

## ➤ WP1: Coordinamento

🌐 Task 1.1 Coordinamento del progetto (P.W. Cattaneo)

🌐 Task 1.2 Riunioni di Progetto (P.W. Cattaneo)

🌐 Task 1.3 Sito Web del Progetto (I. Cristiani)

## ➤ WP2: Realizzazione fisica della Protesi Retinica

🌐 Task 2.1 Caratterizzazione Ottica ed Elettrica dei SiPM (I. Cristiani)

🌐 Task 2.2 Realizzazione di Matrici di Elettrodi su PCB (P. Malcovati)

🌐 Task 2.3 Progettazione e Realizzazione di Matrici di SiPM Ottimizzate (P.W. Cattaneo)

🌐 Task 2.4 Circuito di Alimentazione (P. Malcovati)

## ➤ WP3: Interfacciamento Elettrico-Neurale

🌐 Task 3.1 Caratterizzazione Ottica ed Elettrica dei SiPM (S. Ramat)

🌐 Task 3.2 Ottimizzazione Stimolazione alle Cellule Bipolari (P. Massobrio)

🌐 Task 3.3 Stimolazione Retinica con Matrice SiPM (G. Biella)

# WP1 coordinamento

- Il Working package 1 di coordinamento si occupa dei compiti (Task) di:
- Integrazione tra vari gruppi di ricerca coinvolti (Task 1.1 e Task 1.2)
- Allargamento della collaborazione verso l'area medica (Task 1.1)
- Contatti con gruppi internazionali attivi sulle protesi retiniche (Task 1.1)
- Organizzazione riunioni da livello di task fino a collaborazione e simposi
- con gruppi italiani ed esteri attivi nello stesso campo ed affini (Task 1.2)
- Sito web del progetto per circolazione interna ed esterna delle informazioni (Task 1.3)
- Divulgazione dei risultati e opportunità alla comunità medica e al pubblico (Task 1.3)

# WP2 Realizzazione fisica della Protesi Retinica

Il Working package 2 si occupa della realizzazione fisica della protesi retinica.

Il primo passo è lo studio del campo elettrico sviluppato dalla matrice dei SiPM

in aria in assenza e in presenza di segnali ottici concentrati sulle singole celle.

Studio sia teorico, calcolo numerico del campo elettrico, che sperimentale con sonde con risoluzione spaziale adatta.

Inoltre si determinerà la forma dei segnali e il consumo di potenza in diverse condizioni di illuminazione (Task 2.1).

Realizzazione su PCB di matrici di elettrodi a cui applicare segnali elettrici simili a quelli misurati con i SiPM in Task 2.1. L'obiettivo è l'ottimizzazione della geometria degli elettrodi e della forma del segnale più adatti alla stimolazione delle cellule nervose (Task 2.2).

Sulla base delle misure di consumo di potenza in Task 2.1.

Si procederà alla progettazione Circuito di Alimentazione

(Task 2.4) dei SiPM (~30 V) sfidato dall'accoppiamento induttivo da una sorgente esterna.

Prima discreto, poi integrato.

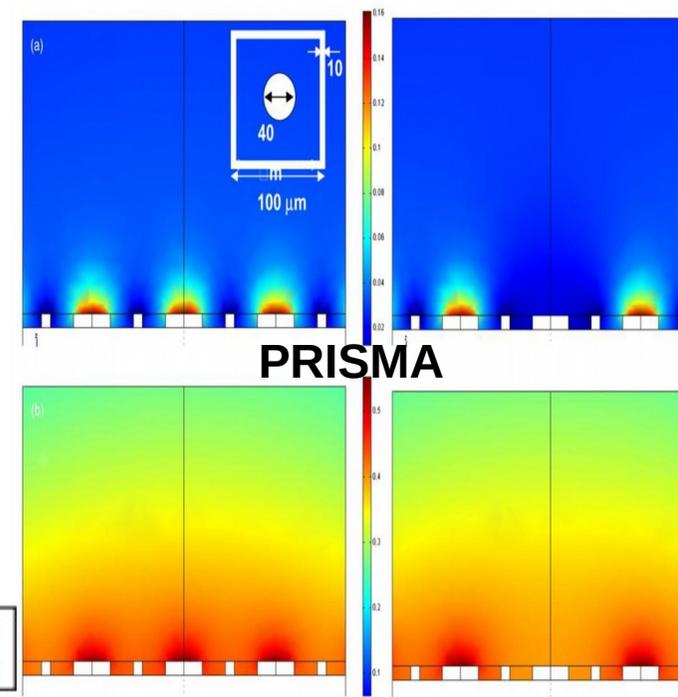
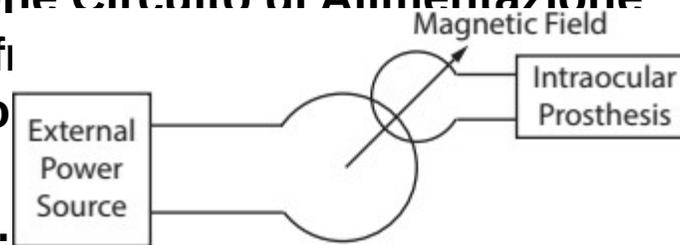
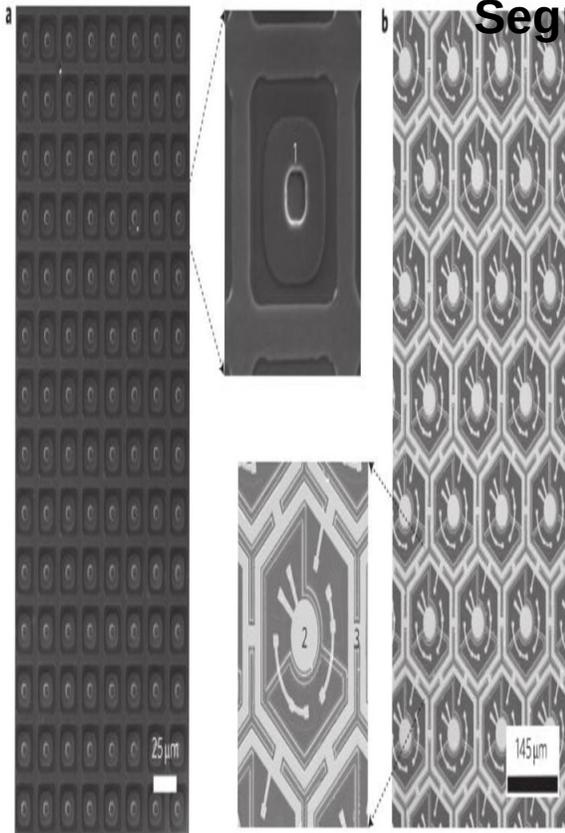


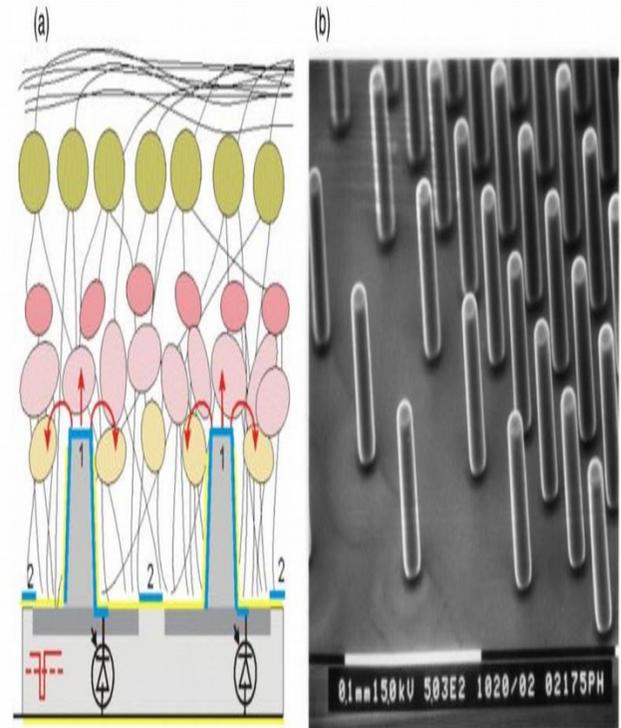
Figure 9. Electric potential in front of a 7 × 7 array with constant current density on the 40 μm disc electrodes: (a) corresponds to local returns and (b) corresponds to returns at infinity. Left frames show the fields when all electrodes are ON and the right frames correspond to the case when the central pixel is turned OFF. The color bar on the right of each frame shows the false color scale ranging from 0 to maximum. The inset in the upper left frame shows geometry of a single pixel.

Sulla base dei risultati in **Task 2.2** si procederà alla progettazione e realizzazione di matrici di SiPM ottimizzate sia come geometria degli elettrodi che come forma del Segnale (**Task 2.3**).



**Figure 2 | Subretinal photodiode arrays.** **a.** Photodiode array consisting of 25  $\mu\text{m}$  pixels, each containing a  $\sim 10 \mu\text{m}$  stimulating electrode ('1' in inset) surrounded by the photosensitive area of a single photodiode. The return electrode common to all pixels is situated on the back of the array. **b.** Array with three-diode pixels arranged in a hexagonal pattern. Pixels of 70 and 140  $\mu\text{m}$  in size were made. Central electrodes ('2' in inset) with diameters of 20 and 40  $\mu\text{m}$ , respectively, are surrounded by three diodes connected in series, and by the common return electrode ('3' in inset). Pixels are separated by 5  $\mu\text{m}$  trenches to improve perfusion and for better isolation (140  $\mu\text{m}$  pixel is shown in the inset).

**PRIM  
A**



**Figure 12.** (a) A pillar array for achieving intimate electrode-cell proximity. (b) An SEM micrograph of the lithographically fabricated SU-8 pillar arrays.

# WP3 Interfacciamento Elettrico-Neurale

➤ Il Working package 3 tratta dell'interfaccia elettrico-neurale

➤ Studio del campo elettrico con una sonda

➤ sotto stimolazione ottica in condizioni

➤ biologiche: soluzione salina, dispositivo

➤ incapsulato in materiale biocompatibile

➤ (Task 3.1)

➤ Utilizzando il dispositivo sviluppato in

➤ Task 2.2 con elettrodi su PCB e generatore

➤ di segnali elettrici, ottimizzazione della

➤ stimolazione rivolta alle cellule bipolari

➤ della retina, con particolare attenzione

➤ alla risoluzione spaziale e all'integrità

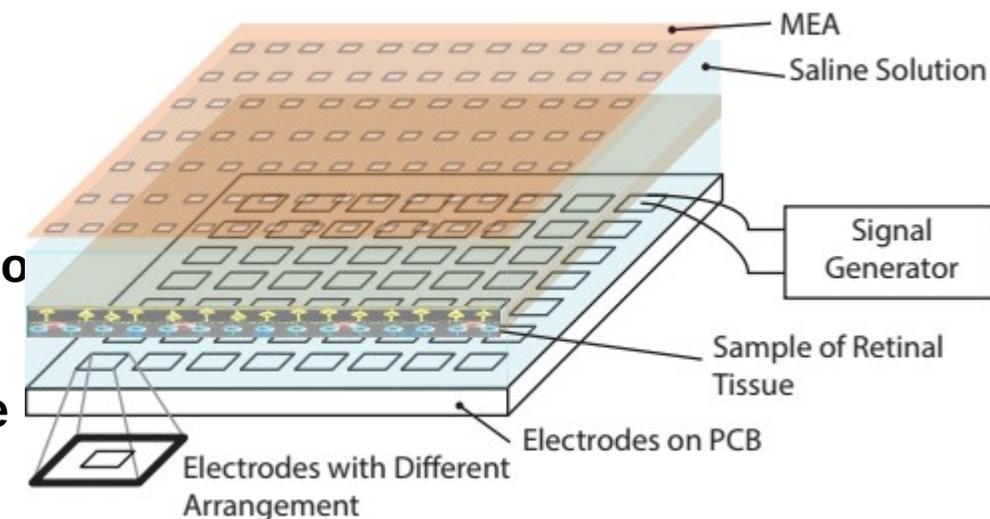
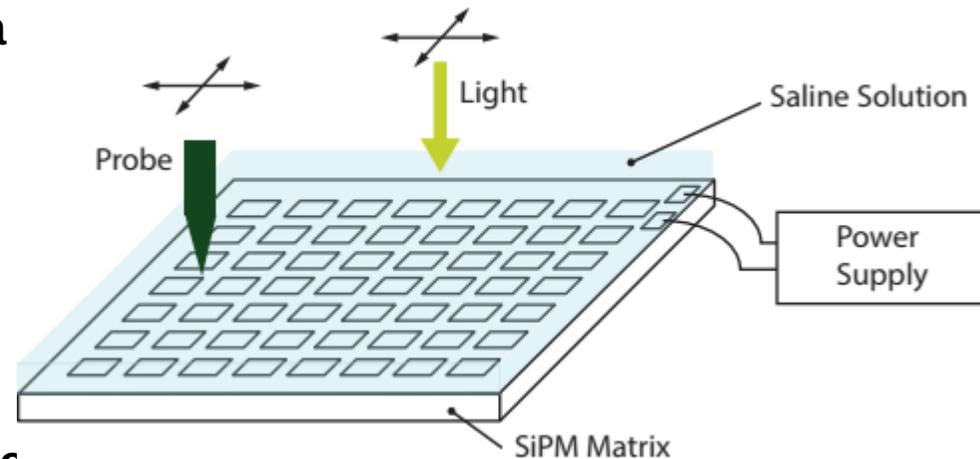
➤ dei tessuti retinali (Task 3.2). Ampio spazio

➤ di parametri per la stimolazione elettrica.

➤ Analisi dell'attività elettrofisiologica delle

➤ cellule gangliari tramite MEA

➤ (Micro Electrode Array).

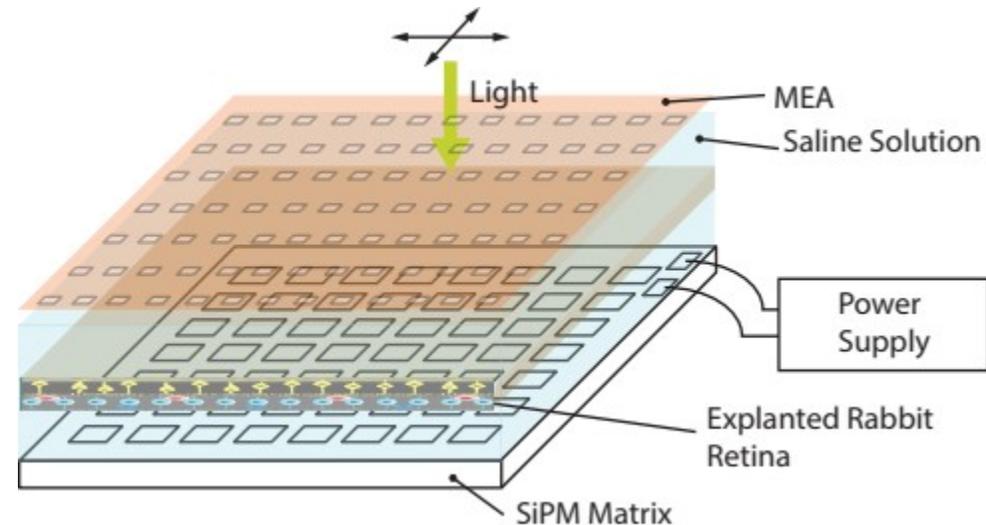


# WP3 Interfacciamento Elettrico-Neurale

In base ai risultati del [\(Task 2.2-3.2\)](#) si fabbricherà un array di SiPM ottimizzato in geometria e forma d'onda.

Il nuovo set-up sperimentale utilizzerà Questo array sarà stimolato da luce per indurre segnali su retine di coniglio la cui reazione sarà letta da MEA.

Fase fondamentale di questo task sarà la definizione del protocollo sperimentale per accoppiare efficacemente la matrice SiPM, il tessuto nervoso e il MEA.



# Occhio Bionico Attività 2020

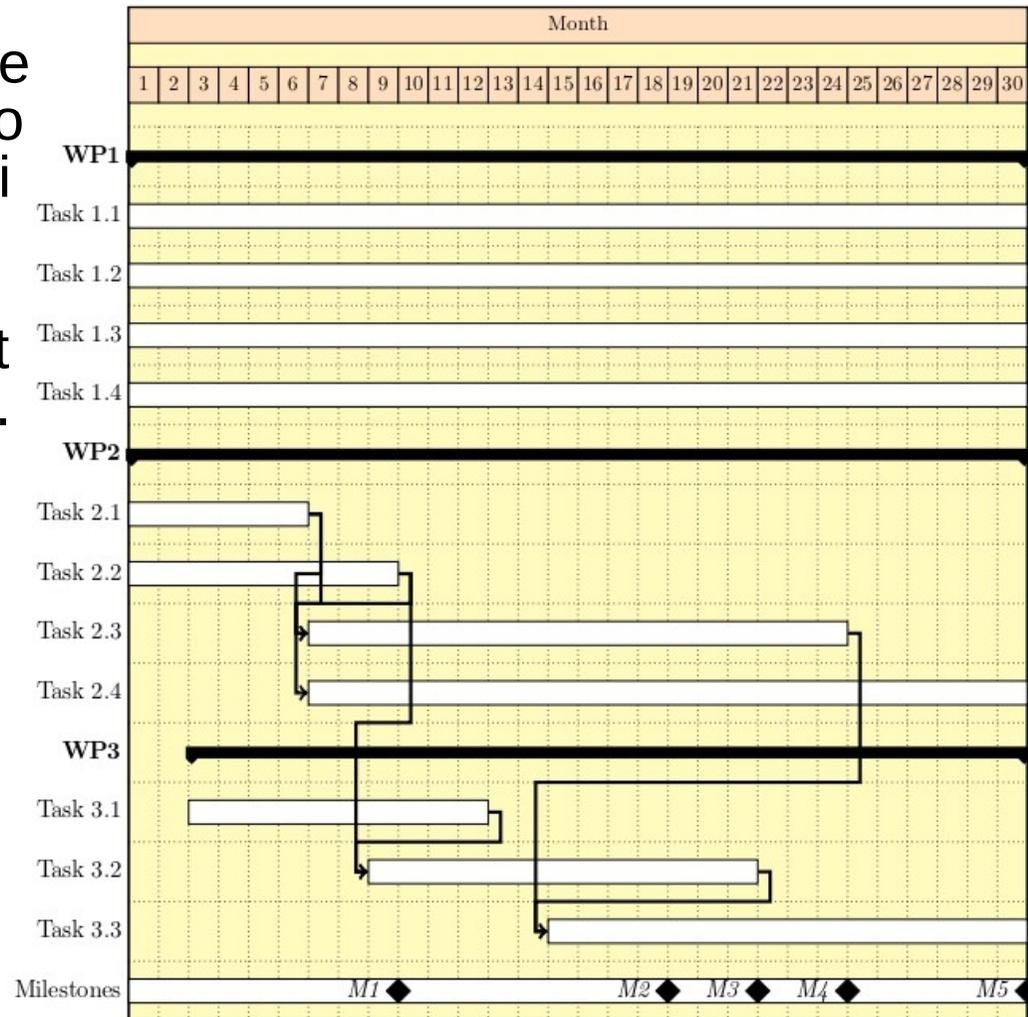
- Studio e misura campo elettrico SiPM in aria
- Ottimizzazione dei parametri: tensione di alimentazione, dimensione celle, potenza, geometria
- Progettazione test di interfaccia con tessuto biologico in laboratorio
- Progetto alimentazione esterna
- Pagina web
- Contatti con FBK finalizzati al design custom dell'array SiPM

# SPEye Obiettivi (milestones) 2020

- **M1(6m):** Calcolo e misura campo elettrico SiPM in aria (P.W. Cattaneo)
- **M2(6m):** Progetto preliminare circuito alimentazione (P. Malcovati)
- **M3(6m):** Test SiPM in soluzione fisiologica (P. Massobrio, S. Ramat)
- **M4(6m):** Pagina web (I. Cristiani)

# Cronoprogramma 2020-2022

2020 e prima parte del 2021 dedicato ai test elettrici dei SiPM e alla progettazione dei sistemi di test elettrico-biologici.



La produzione di circuiti integrati per i test e l'alimentazione e gli array custom di SiPM sono attesi per il 2021-2022.

Figura 24: Gantt chart

La tempistica per trail clinici è molto più lunga. L'esperienza pregressa (AMS) suggerisce almeno 10 anni.

# SPEye Obiettivi (milestones) 2021-2022

- **M1(12m)**: studio e misura campo elettrico SiPM in aria e soluzione salina
- **M2(18m)**: geometria elettrodo ottimizzata per la stimolazione desiderata
- **M3(21m)**: insieme di stimoli adatti alla produzione di attività nelle  
● cellule gangliari
- **M4(24m)**: matrice SiPM ottimizzata per gli stimoli desiderati
- **M5(30m)**: valutazione in vitro del prototipo di retina SiPM

## Occhio\_Bionico Anagrafica 2020

Paolo W. Cattaneo (res.)	PR (INFN Pavia)	20%
Andrea Rappoldi	PT (INFN Pavia)	10%
Ilaria Cristiani	PA (Uni Pavia Ing.)	30%
Piero Malcovati	PO (Uni Pavia Ing.)	30%
Paolo Minzioni	RU (Uni Pavia Ing.)	30%
Stefano Ramat	PO (Uni Pavia Ing.)	30%
Gerardo Biella	PA (Uni Pavia Fisiol.)	30%
Mauro Toselli	PO (Uni Pavia Fisiol.)	30%
Paolo Massobrio	PA (Uni Genova Ing.)	30%
Totale FTE		2.4
Lab. Elettronica		3 mu
Lab. Meccanica		3 mu

# Occhio\_Bionico Anagrafica 2020

**Ilaria Cristiani:** Professore Associato in fisica (optoelettronica) al Dipartimento Ingegneria Industriale e dell'Informazione.

Campi di ricerca: Dispositivi nonlineari in ottica integrata, Fotonica in silicio, Dispositivi ottici integrati per la biofotonica

**Stefano Ramat:** Professore Ordinario in bioingegneria al Dipartimento Ingegneria Industriale e dell'Informazione.

Campi di ricerca: Neuroscienza, Modellizzazione matematica, Controllo neurale del movimento, Sistemi sensori motori, Controllo motorio oculare

**Paolo Minzioni:** Ricercatore Universitario in fisica (optoelettronica) al Dipartimento Ingegneria Industriale e dell'Informazione.

Campi di ricerca: Ottica nonlineare, Biofotonica, Comunicazioni ottiche, Ottica integrata su silicio

# Occhio\_Bionico Anagrafica 2020

**Gerardo Biella:** Professore Associato in fisiologia al  
Dipartimento Biologia e Biotecnologie.

Campi di ricerca: Neurofisiologia

**Mauro Toselli:** Professore Ordinario in fisiologia al  
Dipartimento Biologia e Biotecnologie.

Campi di ricerca: Neurofisiologia

# Occhio\_Bionico Anagrafica 2020

**Paolo Massobrio:** Professore Associato in Bioingegneria al  
Dipartimento di Informatica, Bioingegneria, Robotica,  
Ingegneria dei Sistemi (Genova)  
Campi di ricerca: Bioingegneria

# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie Pavia 2020

MI per contatti gruppi di ricerca	<b>1.5 ke</b>
Consumo	<b>6.5 ke</b>
Acquisto SiPM/SPAD privi di finestra plastica	<b>2.5 ke</b>
Materiale per stampante 3D, PCB (INFN)	<b>2.0 ke</b>
Ottiche di laboratorio (ing. elettroottica)	<b>1.0 ke</b>
Componenti PCB circuito alimentazione (ing. microelettr.)	<b>1.0 ke</b>
Consumo (fisiologia)	<b>6.0 ke</b>
Chemicals per soluzioni elettrofisiologiche	<b>1.5 ke</b>
Medium di cultura, fattori di crescita	<b>1.5 ke</b>
Kit per transfezione delle cellule con opportuni plasmidi	<b>2.0 ke</b>
Virus per optogenetica su animali	<b>1.0 ke</b>
Totale consumo	<b>12.5ke</b>

# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie Pavia 2020 (2)

Inventariabile

Microprobe amplificata per misura campo e.m. esterno delle  
celle del SiPM risoluzione 20 $\mu$ m banda passante 100MH

**11.5 ke**

**5.5 ke**

Linear stage for probe positioning over SiPM

**2.5 ke**

Optical system per focalizzare impulsi  
di luce su singolo pixel del SiPM

**3.5 ke**

Totale

**25.5 ke**

# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie Pavia 2021

MI per contatti gruppi di ricerca	2.5 ke
Consumo	54.5 ke
Acquisto SiPM/SPAD privi di finestra plastica	2.5 ke
Materiale per stampante 3D, PCB (INFN)	2.0 ke
Ottiche di laboratorio (ingegneria)	1.0 ke
Montaggi ottici e microposizionatori	1.0 ke
Componenti PCB per circuito alimentazione	3.0 ke
Run produzione circuito integrato	20.0 ke
Run SiPM Custom	25.0 ke
Consumo (fisiologia)	10.0 ke
Chemicals per soluzioni elettrofisiologiche	1.0 ke
Medium di cultura, fattori di crescita	2.0 ke
Kit per transfezione delle cellule con opportuni plasmidi	2.0 ke
Virus per optogenetica su animali	3.0 ke
Acquisto di animali (topi) e mantenimento colonia	2.0 ke
Totale consumo	64.5 ke

# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie Pavia 2021 (2)

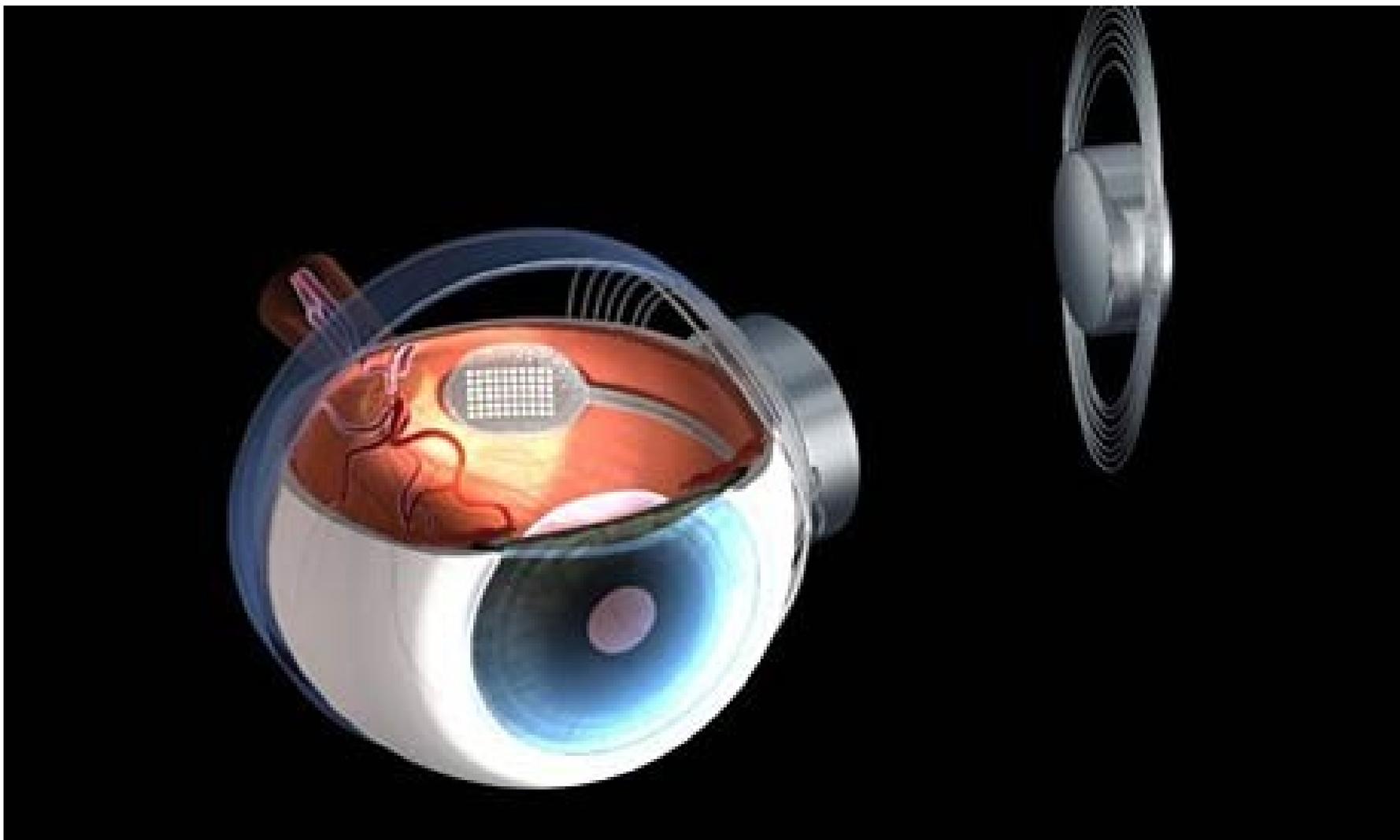
Inventariabile	<b>10.0 ke</b>
Scheda DAQ digidata (fisiologia Pavia)	
Totale	<b>77.0 ke</b>

# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie 2021-2022

	2021	2022
Missioni per contatti gruppi di ricerca italiani/esteri	<b>4.5 k</b>	<b>5.0 k</b>
Consumo	<b>83.5 k</b>	<b>85.0 k</b>
Consumo di laboratorio	<b>38.5 k</b>	<b>40.0 k</b>
Run custom elettronica di test/alimentatori	<b>20.0 k</b>	<b>20.0 k</b>
Run custom SiPM	<b>25.0 k</b>	<b>25.0 k</b>
Inventariabile	<b>10.0 k</b>	<b>10.0 k</b>
Totale	<b>98.0 k</b>	<b>100.0 k</b>

**Backup slides**

## Protesi visuale (Occhio bionico) interno

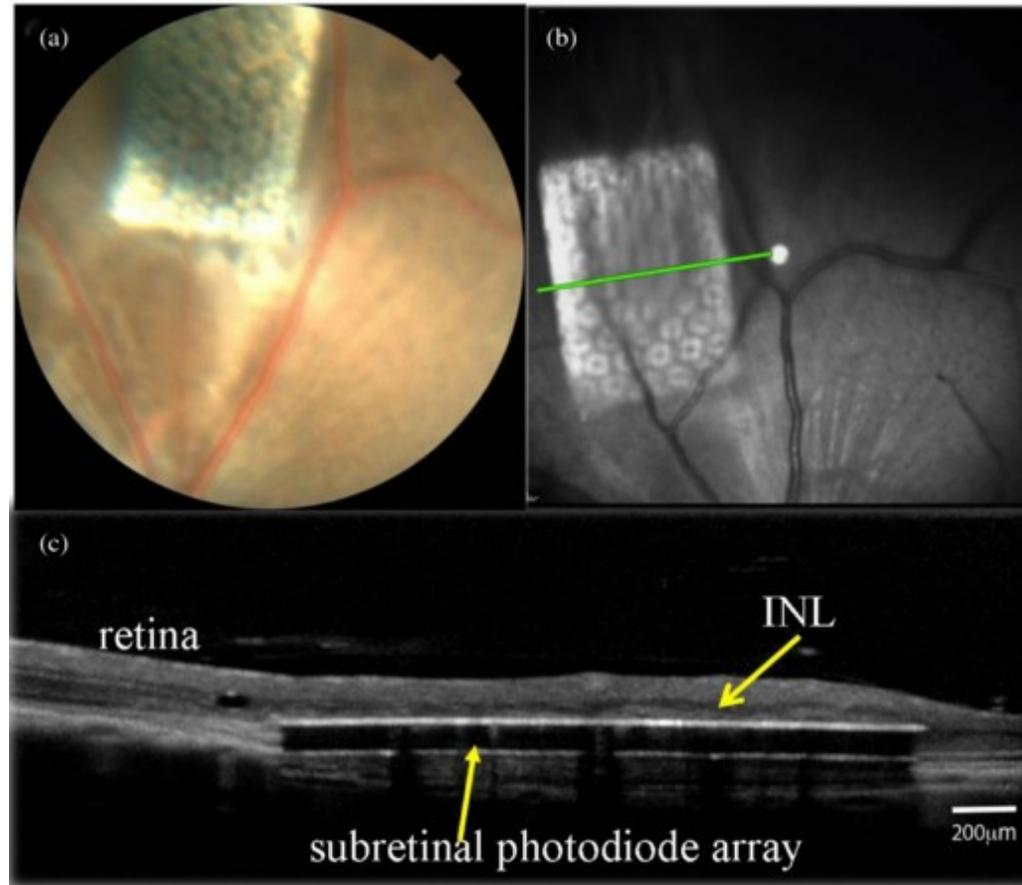


# SWOT and Conclusions

Strengths	Opportunities
<p>High quality of life for patients affected by retinitis pigmentosa or AMD; Cost effective and simpler solution; Minimal training for patients required; Interdisciplinary work between physicists, engineers and ophthalmologists.</p>	<p>Market opportunity due to limited number of competitors present and in the foreseeable future; Based on technologies (SPAD, miniaturize batteries) rapidly evolving driven by a much larger market (photodetectors, peacemaker);</p>
Weaknesses	Threats
<p>Long time span before reaching customers; Complex clinical test on humans.</p>	<p>Missing authorization from Health Minister; Additional competitors on the market.</p>

# PRIMA (Photovoltaic Retinal Implant)

J. Neural. Eng. 4 (2007) S72



# Protesi visuale (Occhio bionico) esterno

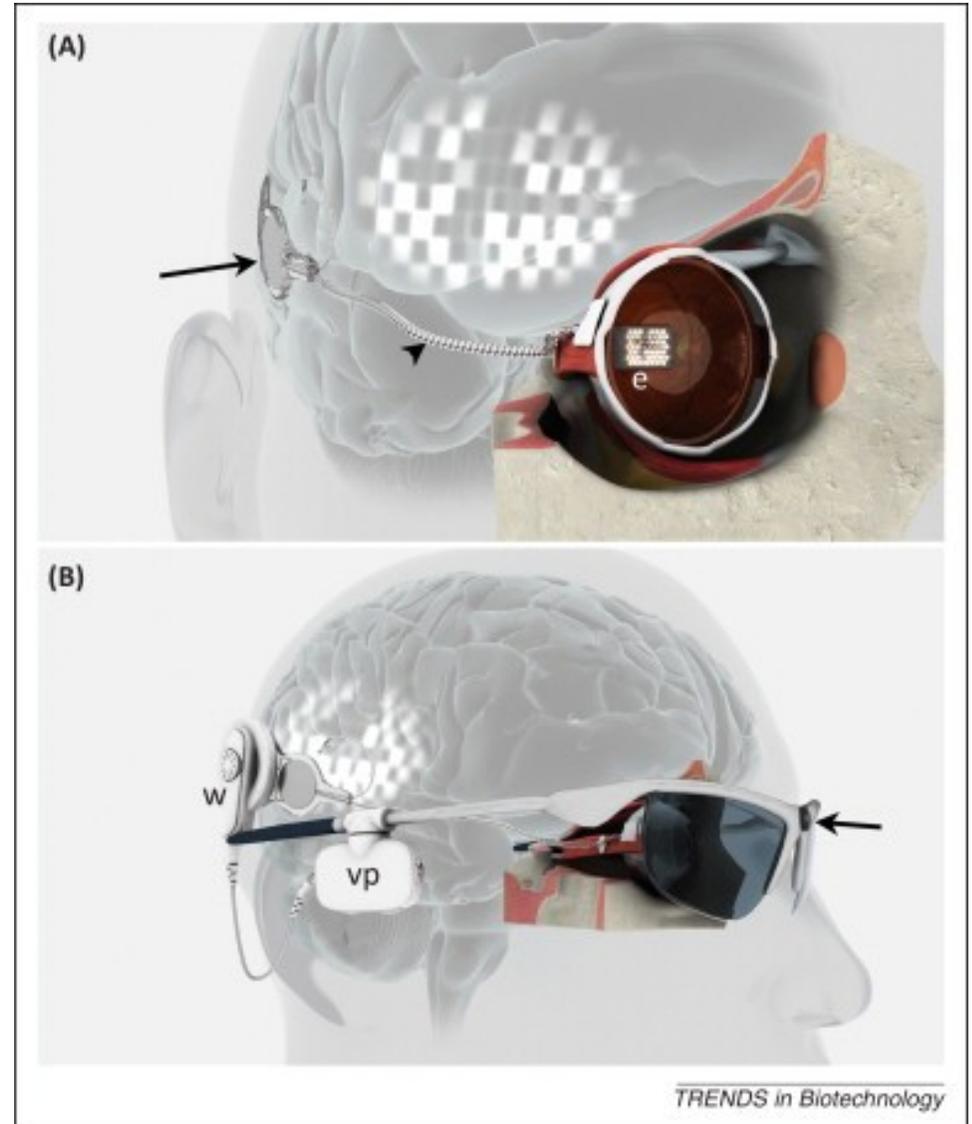
Trends in Biotechnology, Oct. 2013, Vol. 31, 10, 562

Per le protesi epiretiniche sull'occhiale è installata la telecamera.

Per tutte le protesi il sistema di alimentazione è esterno.

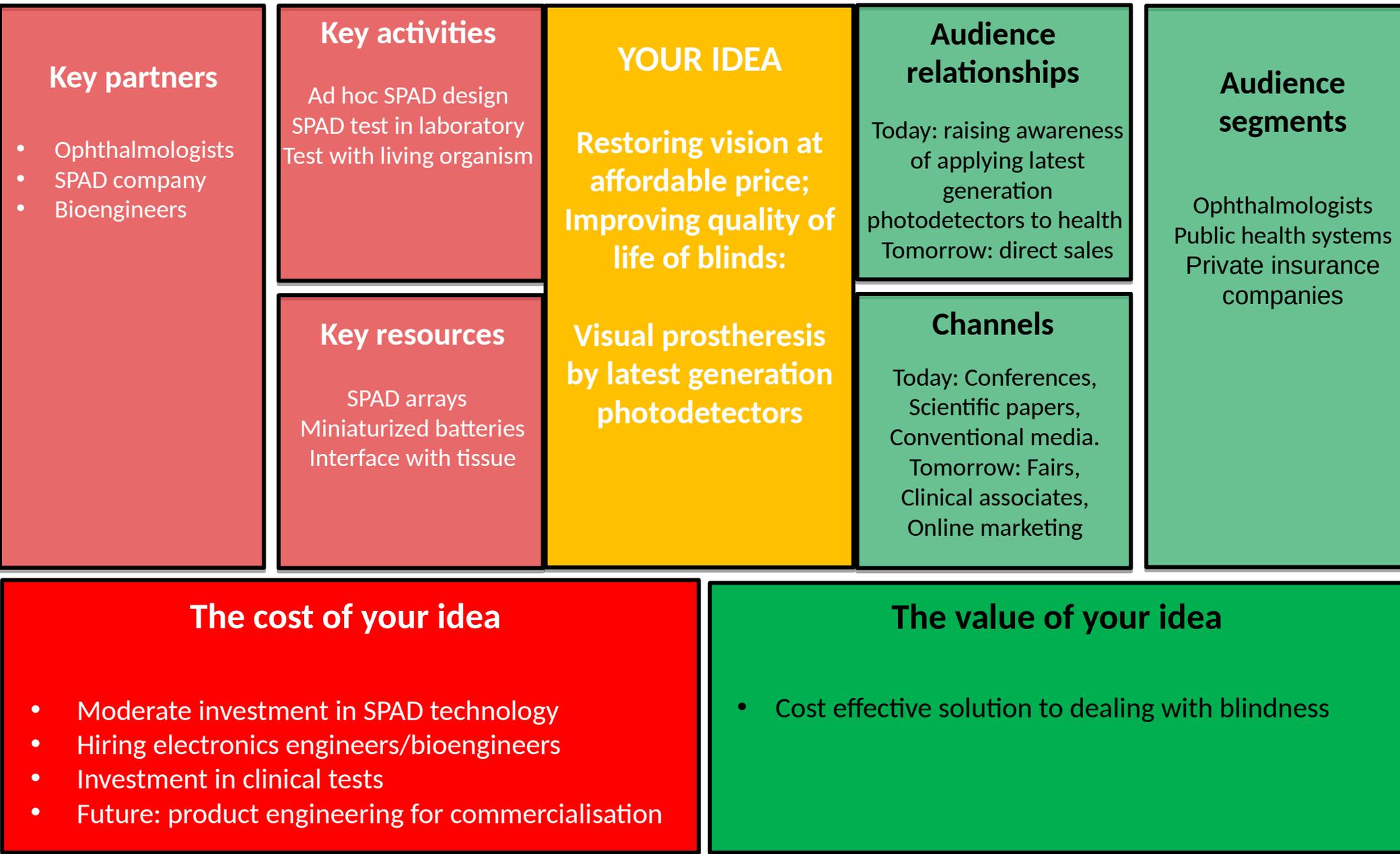
Una microbatteria sarebbe la soluzione ideale ma il volume disponibile è ridotto.

Ad ora si usa o un filo di connessione con l'esterno o trasferimento wireless dall'esterno.



# Business Model: a preliminary idea for this one year proposal.

This is a first attempt to reason in business model language, but most of the points are related to the possible declinations in the POC project, coherently with the advancement of our idea.



# Occhio\_Bionico Richieste finanziarie Genova 2020

MI per contatti gruppi di ricerca italiani	<b>0.5 ke</b>
Consumo	
Metabolismo di laboratorio (dispositivi, terreni di coltura, neuroni)	<b>10.0 ke</b>
Totale	<b>10.5 ke</b>
Totale Pavia+Genova	<b>29.0 ke</b>

## Consumo 2020

- Dispositivi a matrici di microelettrodi (MEA) per la registrazione dell'attività elettrofisiologica (Multi Channel Systems) utilizzare per la misura. Costo ~300 euro/cad permettono di registrare da 60 o 120 elettrodi. Utilizzo di una decina per il 2020 non sono usa-e-getta, ma dopo alcuni utilizzi tendono a deteriorarsi **3.0k**
- Medium di cultura, fattori di crescita, antimitotici, ... tutto il materiale biologico per mantenere in vita le cellule sui MEA. Tenendo conto che almeno inizialmente ci sarà un po' di "spreco" dovendo utilizzare delle cellule nuove **3.5k**
- Anticorpi, marcatori, secondari. Al fine di verificare lo stato di salute delle reti, e per verificare otticamente la formazione di reti attive, marcatori per fluorescenza sono solitamente utilizzati **3.5k**