

SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

LA VISIONE ARTIFICIALE

Scenario Applicativo

- Le patologie neurodegenerative della retina sono la principale causa della perdita della funzionalità visiva
- Milioni di persone in tutto il mondo soffrono di disturbi visivi dovuti a malattie oculari che possono portare alla cecità
- La perdita della vista può avere un impatto profondamente negativo sulla qualità della vita di un individuo

Obbiettivi

- Sebbene la percezione artificiale non possa garantire i dettagli e l'alta qualità della visione naturale, l'obiettivo, nel breve termine, è consentire al paziente di recuperare una maggiore autosufficienza motoria.
- Il ripristino della visione normale rimane il traguardo, nel lungo termine, degli studi nel settore dei sistemi visivi impiantabili.

- Per l'Organizzazione mondiale della sanità (WHO 2010) sulla Terra vivono 285 milioni di persone con handicap visivo grave: 39 milioni sono i ciechi e 246 milioni sono gli ipovedenti.
- Solo in Italia, l'ISTAT stima che vi siano 362 mila ciechi e che siano oltre un milione gli ipovedenti

- Le definizioni legali della riduzione della funzione visiva sono legate principalmente all'acutezza visiva
- L'OMS propone la distinzione fra cecità e ipovisione: un soggetto è cieco quando l'acuità visiva corretta nell'occhio migliore è inferiore a $1/20$, mentre è considerato ipovedente quando essa è compresa tra $3/10$ e $1/20$.
- In Italia il concetto legale di cecità-ipovisione è stato ridefinito con la legge 3 aprile 2001, n.138
 - Le innovazioni introdotte da questa legge consistono nel prendere in esame, per la valutazione del danno visivo, non solo lo stato della visione centrale ma anche lo stato della visione periferica o campo visivo
 - La riduzione del campo visivo è invalidante in quanto limita la capacità di controllo dello spazio circostante

Difetti Visivi

- Le cause principali dei difetti visivi sono
 - errori di rifrazione per il 43% e cataratta non curata per il 33 %.
- Altre cause sono da imputarsi a:
 - glaucomi (2%), degenerazione maculare dovuta all'età, retinopatia diabetica e opacità corneale, tutte complessivamente per circa l'1% del totale.

- Le protesi visive rientrano nelle categorie degli apparati medici che interfacciano direttamente strumenti elettronici con il sistema nervoso.
- Le protesi visive si basano su tre principi fondamentali:
 - 1. La luce può essere rimpiazzata da impulsi elettrici per stimolare la percezione della visione
 - 2. La cecità dovuta alla degenerazione della retina non influenza la trasmissione del segnale dalle cellule gangliari retinali alle vie visive
 - 3. La stimolazione elettrica delle vie visive e della corteccia può evocare la percezione della visione anche nei soggetti ciechi.

Principi Comuni per protesi Visive

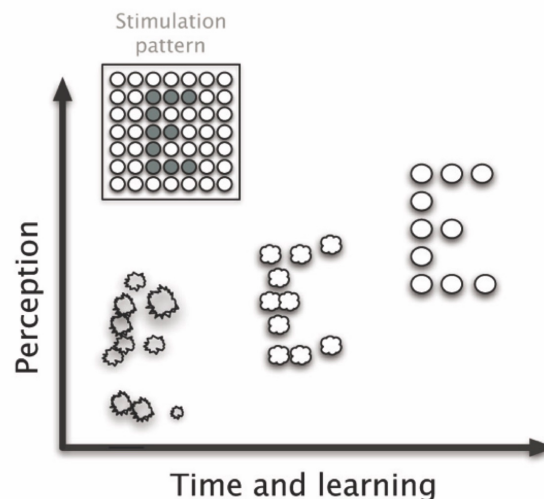
- L'idea di base su cui si basano le protesi visive è nella capacità di poter stimolare la parte sana della struttura visiva al fine di generare la sensazione di punti discreti di luce chiamati fosfeni
 - Stimolazione in qualsiasi tratto del cammino visivo:
 - Retina, nervo ottico, Nucleo Genicolato Laterale (NGL) o Corteccia Striata

Primi studi sulle protesi visive

- La possibilità di ripristinare la percezione visiva in soggetti ciechi parte nel 1929.
- Forester, un neurochirurgo tedesco scoprì che stimolando elettricamente il polo occipitale di un individuo sottoposto a anestesia locale, il soggetto era in grado di descrivere la percezione di punti di luce, come «le stelle nel cielo».
- Questi risultati insieme con quelli ottenuti da Wilder Penfield e i suoi collaboratori durante gli interventi per il trattamento dell'epilessia hanno gettato le basi per lo studio e sviluppo di protesi visive.
- Esperimenti successivi fatti dal gruppo di Giles Brindley in Inghilterra, dal gruppo di William Doherty dell'Università dello Utah e da Bak e Girvin) hanno mostrato che la stimolazione simultanea attraverso array di elettrodi posizionati nella superficie del cervello permettevano di riconoscere semplici pattern visivi, incluse lettere e caratteri Brail
 - (Brindley and Lewin 1968; Brindley, Donaldson et al. 1972; Brindley 1982)
 - (Doherty and Mladejovsky 1974; Doherty, Mladejovsky et al. 1974; Doherty, Mladejovsky et al. 1976; Doherty 2000)
 - Pollen (Pollen 1975) e altri (Bak, Girvin et al. 1990)

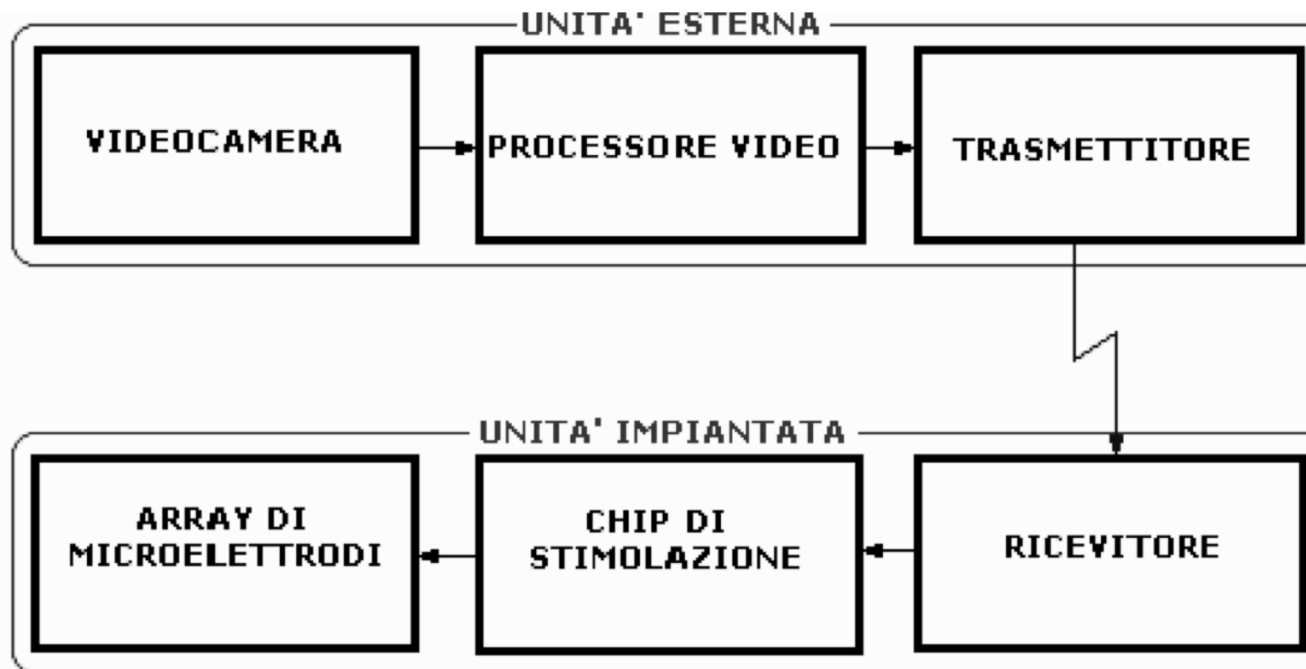
Generazione dei fosfeni

- La capacità del Sistema Visivo contribuirà a migliorare la correlazione tra i fosfeni evocati e la percezione dell'immagine reale.
- Si richiede un periodo di adattamento e di riabilitazione che permetta al paziente di migliorare le sue capacità nella percezione dell'immagine.
- Come si evince dall'esempio:
 - All'inizio scarsa capacità di percepire la lettera E, poi col training i risultati migliorano



Struttura tipica di una protesi visiva

- La struttura tipica di una protesi visiva impiantabile è organizzata in due unità distinte.

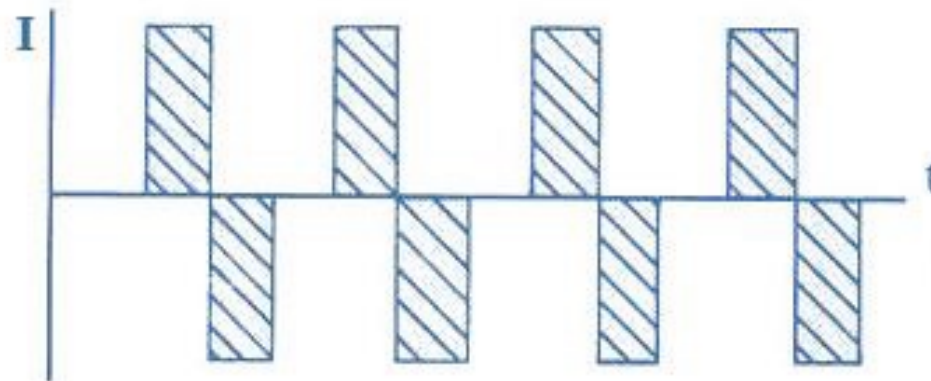


- L'unità esterna è provvista di una videocamera, che acquisisce l'immagine grazie ad una telecamera
 - (in genere di tipo CMOS o CCD per via del ridotto consumo e della buona duttilità)
- un processore video, che ha la funzione di elaborare l'immagine eliminando le informazioni superflue ed amplificando quelle utili.
- Il segnale in uscita dalla telecamera deve essere pre-filtrato, per ridurre il problema dell'aliasing, e digitalizzato

- Le fasi del processo di elaborazione del segnale svolto dal video processore sono:
 - la convoluzione, cioè una simulazione dell'operazione di integrazione spaziale e temporale dell'informazione visiva che avviene nei diversi strati della retina,
 - l'aumento del contrasto e il riconoscimento dei contorni, o edge detection, con lo scopo di intensificare i punti dell'immagine in modo da renderla più semplice e più facile da rappresentare,
 - la riduzione dei dati e del rumore, realizzata effettuando la trasformata di Fourier del segnale ed eliminando le frequenze contenenti informazioni inutili.

- Il trasmettitore è il componente dell'unità esterna che si occupa di trasmettere il segnale e di trasferire la potenza necessaria per l'alimentazione del dispositivo impiantato.
- La trasmissione avviene grazie a sistemi a radio frequenza, comunicazione ottica con fascio laser o per mezzo di cavo conduttore.
- Al ricevitore, presente nell'unità impiantata intraoculare, giunge l'informazione decodificata dal trasmettitore.
- Il chip di stimolazione interno genera gli impulsi elettrici da trasferire agli elettrodi: gli impulsi devono avere ampiezza, frequenza e durata tali da suscitare una sensazione visiva nel paziente ma tali da non danneggiare, a causa del riscaldamento i tessuti circostanti

- Per evitare la dissoluzione dell'elettrodo per via delle correnti ioniche, si preferisce usare impulsi bifasici, simmetrici e compensati
 - In modo da ottenere che la corrente media sia nulla



- La microstimolazione elettrica del tessuto nervoso avviene attraverso array di microelettrodi, interfacce di connessione fra i neuroni e i circuiti elettronici
 - è necessario che essi siano biocompatibili a lungo termine e di forma tale da non provocare eccessivo stress meccanico al sito d'impianto.
- Tutte le protesi visive condividono un comune set di componenti di sistema
 - la differenza significativa risiede nella locazione dell'interfaccia verso il sistema nervoso.
- Il sito di applicazione dell'impianto dipenderà dalla patologia e dalla regione del percorso visivo compromessa, che si intende riattivare mediante elettrostimolazione

Le posizioni anatomiche preferite per la stimolazione

- Sono essenzialmente quattro:
 - La retina: la stimolazione della retina è possibile quando esiste una popolazione di cellule retinali che possono ancora trasmettere informazioni
 - Si dividono in: epiretiniche, subretiniche o supracoroidali
 - Il nervo ottico: la stimolazione del nervo ottico è stato proposto per la prima volta nel 1998,
 - L'intervento clinico è relativamente semplice, attualmente queste protesi sono in fase di studio
 - NGL: è considerato un punto molto favorevole per la stimolazione elettrica; anche in questo caso solamente studi di ricerca
 - La corteccia striata: vantaggi della stimolazione di V1 risiedono nella sua ampia dimensione e al fattore di ingrandimento; attualmente queste protesi non sono approvate per il commercio

Protesi Retiniche

- Le due più comuni patologie della retina esterna sono
 - la degenerazione maculare legata all'età
 - la retinite pigmentosa
- Entrambe hanno a comune la riduzione o perdita della vista: perchè le cellule fotorecetrici della retina sono degenerate fino a perdere la loro funzione di trasduzione

Degenerazione maculare legata all'età

- La Degenerazione maculare legata all'età (Age-related macular degeneration o AMD) è una malattia oculare che coinvolge la parte posteriore della retina, la macula.
- La macula facilita la visione centrale e permette grande acuità visiva, grazie all'elevato numero di fotorecettori che contiene.
- Il progredire della malattia implica perciò, la perdita della vista centrale.

La Retinite pigmentosa

- La Retinite pigmentosa (RP) descrive un gruppo eterogeneo di distrofie retiniche ereditarie, caratterizzate dalla progressiva degenerazione dei fotorecettori della retina.
- È quindi una malattia genetica dell'occhio.
- Di solito la degenerazione parte dalla media periferia del fondo della retina (l'epitelio pigmentato retinico) e avanza verso la macula e la fovea.

Effetti sulla visione

- Visione per soggetto sano



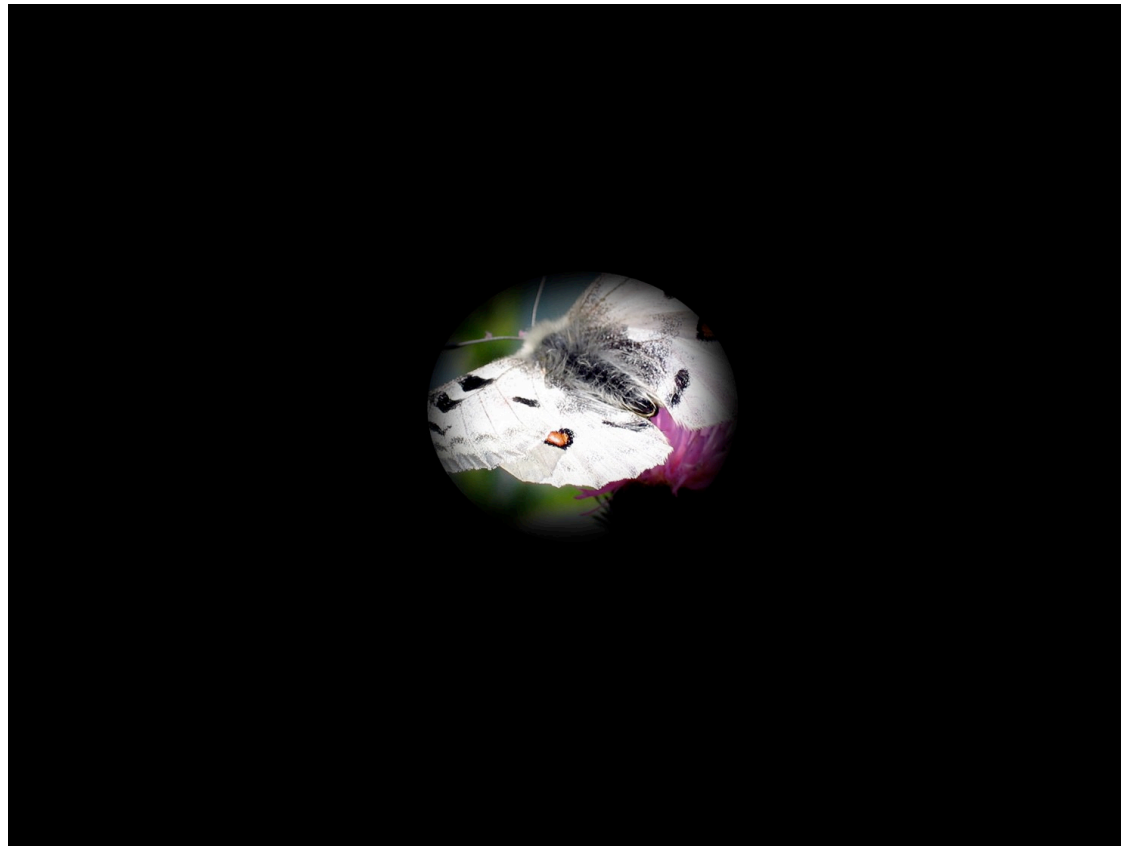
Effetti sulla visione

- Visione per soggetto affetto da AMD



Effetti sulla visione

- Visione per soggetto affetto da RP



Protesi Retiniche

- L'impianto delle matrici di stimolazione può essere inserito in tre posizioni diverse della retina:
 - Epiretiniche (con gli elettrodi piazzati sopra la retina, cioè verso l'interno, sopra le cellule gangliari)
 - Subretiniche (con gli elettrodi piazzati sotto (dentro) la retina, cioè tra lo strato dei fotorecettori e le cellule bipolari)
 - Supracoroidali (con gli elettrodi piazzati tra la sclera e il coroide)

Impianti Epiretinici

- Uno dei primi impianti di questo tipo è nato a metà degli anni 90 dalla collaborazione della John's Hopkins University e la North Carolina State University
- Questo progetto prese il nome di MARC
 - MARC1, presentava un electrode-array di $2 \times 2 \text{ mm}^2$ con 25 elettrodi disposti in una griglia 5×5 e poteva fornire solo la visione del bianco e del nero
 - traguardi raggiunti dal progetto MARC sono serviti come base per la realizzazione della protesi Argus

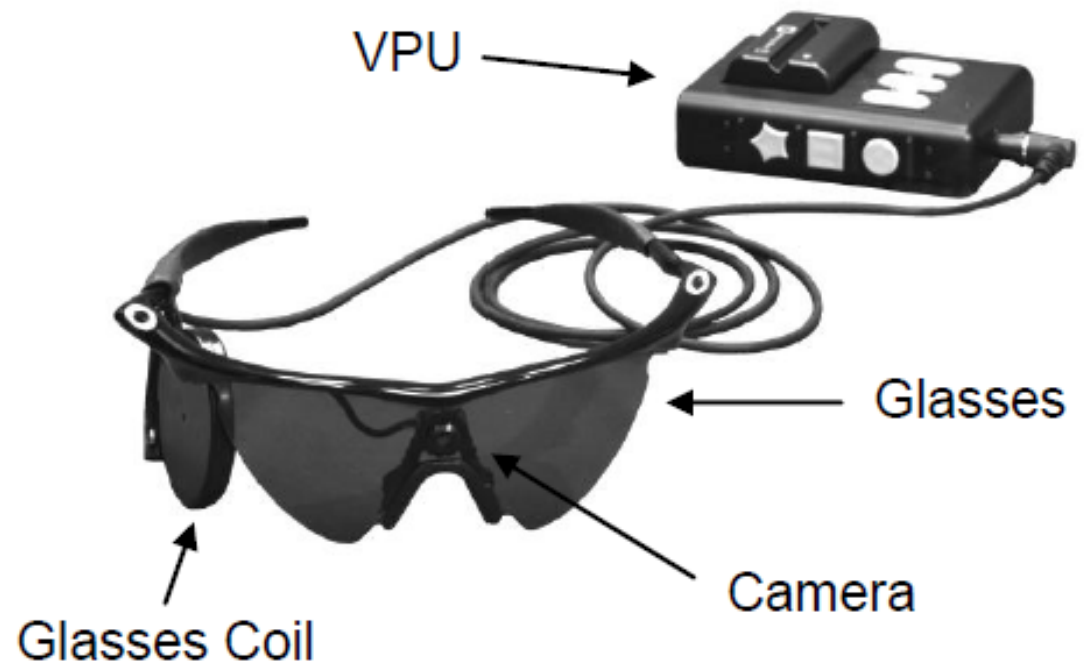
Impianti Epiretinici

- L'ottimizzazione e il perfezionamento hanno portato allo sviluppo di una generazione di protesi epiretinale, prodotta dalla Second Sight, chiamata Argus II
 - <http://www.secondsight.com/how-is-argus-r-ii-designed-to-produce-sight-en.html>
 - Nel 2007 la US Food & Drug Administration ha approvato l'esecuzione di studi clinici su umani della seconda generazione di protesi epiretinica, fino a ottenere, nel 2013, la concessione per la commercializzazione.
 - Argus II ha ricevuto il marchio CE nel 2011 ed è ora disponibile in commercio anche in Unione Europea

Struttura di Argus II

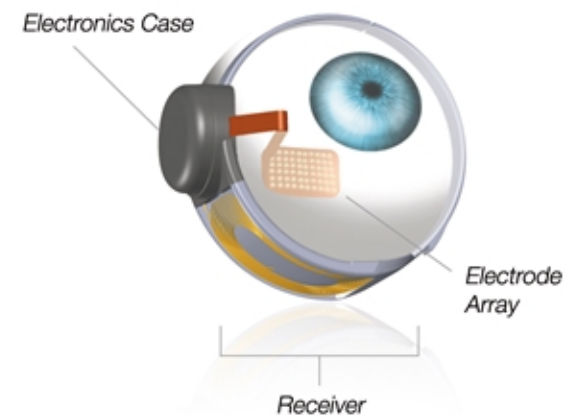
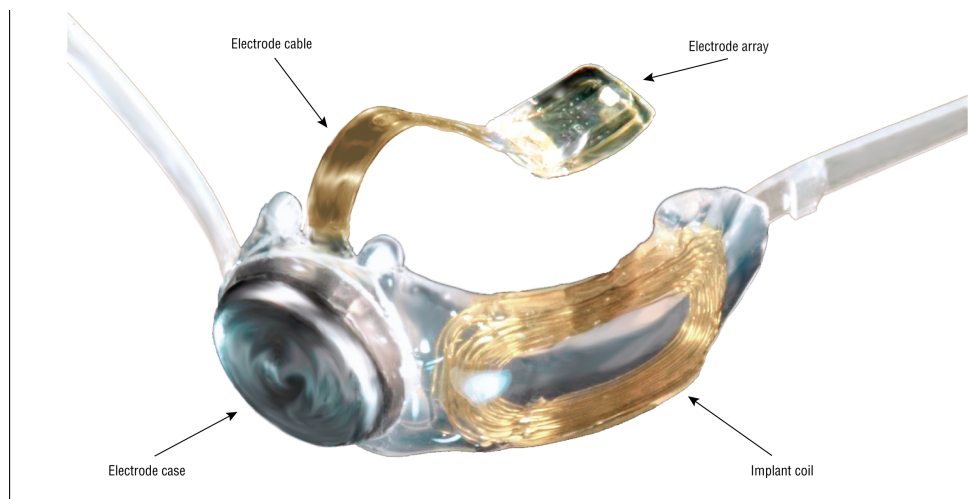
- Apparecchiatura esterna che comprende gli occhiali, in cui alloggia la videocamera, un'unità di elaborazione video (VPU), ed un cavo
- La videocamera raccoglie l'immagine e trasmette il segnale al VPU, un piccolo processore indossato dal paziente, in grado di convertire gli impulsi visivi in stimolazioni elettriche.
- Le istruzioni vengono inviate nuovamente agli occhiali, equipaggiati da un'antenna, che trasferisce i dati e l'alimentazione necessaria via wireless attraverso la pelle fino all'unità impiantata
- Qui, il ricevitore inoltra il segnale al chip stimolatore, collegato alla matrice di 60 elettrodi, in prossimità della macula

Argus II



Gli Elettrodi di Argus II

- Disposti in una griglia 6x10, misurano 200 μm in diametro e sono distanziati da spazi di 575 μm .
- L'attivazione di un microelettrodo equivale alla stimolazione di centinaia di fotorecettori.



Struttura di Argus II

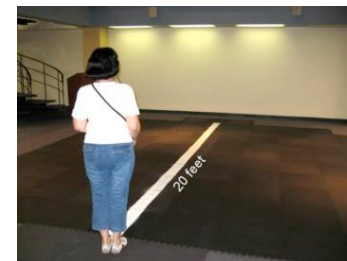
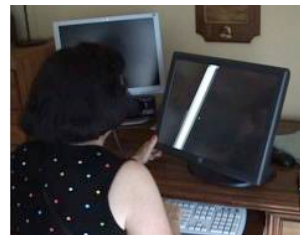
- La protesi è fissa, l'impianto resterà sulla retina per il resto della vita del paziente.
- Il software che regola l'elaborazione delle immagini è in continuo sviluppo e si possono ottenere miglioramenti delle performance visive, mediante l'implementazione di avanzate strategie di vision processing, zooming, eye scanning, color coding

Struttura di Argus II

- Gli impulsi elettrici provenienti dall'array epiretinico bypassano i fotorecettori degenerati e stimolano le cellule sane rimanenti della retina,
- L'informazione visiva viene trasmessa dalle cellule sane lungo il nervo ottico, fino al cervello, creando la percezione di motivi luminosi, in modo coerente con la mappa retinotopica

Test su Argus II

- Circa 30 soggetti testati tra il 2007 e il 2009
 - La percezione della luce durante la stimolazione elettrica è stata verificata in tutti i soggetti
 - 27/28 soggetti hanno migliorato le performance della localizzazione di oggetti
 - 16/28 soggetti hanno migliorato la valutazione del movimento
 - 22/30 soggetti hanno provato il riconoscimento di caratteri
 - di questi, 6 hanno migliorato drasticamente il riconoscimento di qualsiasi carattere dell'alfabeto (dal 9.5% al 63.5% di riconoscimenti corretti)
 - in tutti e 22, otto lettere selezionate sono state identificate correttamente per il 72.5%, contro il 16.8% con il sistema spento



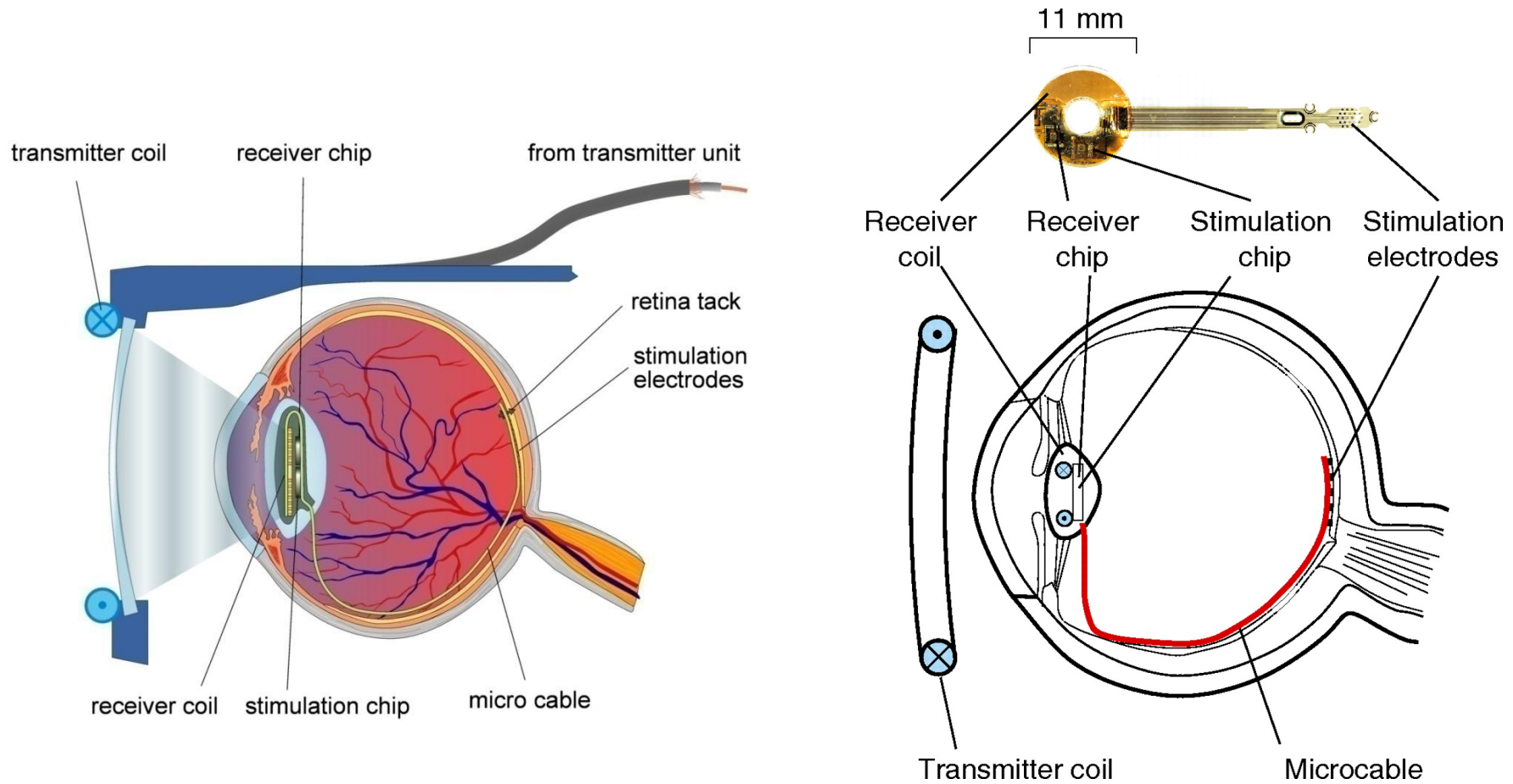
Impianti Epiretinici

- Un ulteriore impianto epiretinico simile ad Argus II è stato sviluppato dalla collaborazione tra la Aachen University Clinic e la Fraunhofer Institute Microelectronics in Germania
 - Nome commerciale: Epi-Ret3

Epi-Ret3

- Il sistema presenta una componente extraoculare che include una camera CMOS e un processore portatile con un software di stimolazione
- un'unità di trasmissione e una bobina trasmittitrice, inseriti in una speciale montatura simile a degli occhiali.
- La porzione intraoculare è basata su un microcavo flessibile, con una bobina ricevente integrata, un array di 25 elettrodi stimolatori (di altezza 25 μm e diametro 100 μm), un chip ricevitore e un chip stimolatore.

Sistema Epi-Ret3



Epi-Ret3

- I componenti elettronici sono posizionati all'interno di una lente artificiale nella camera posteriore dell'occhio
- l'array di elettrodi è collocato al centro della retina.
- La trasmissione dell'alimentazione e dei dati avviene mediante accoppiamento induttivo a radio frequenza.

Test di Epi-Ret3

- Test in vivo e in vitro hanno mostrato che l'impianto è funzionale fino ad una distanza di 25 mm fra la bobina trasmittente e quella ricevente, anche durante il movimento degli occhi.
- Durante la stimolazione, sperimentata nel 2007 su 6 pazienti, per 4 settimane, i soggetti hanno riportato una sensazione visiva riuscendo a distinguere punti, linee, archi
- gli interventi chirurgici di impianto della protesi sono stati condotti con successo evidenziando una tolleranza del sistema biologico al dispositivo, stabile per tutto il periodo di prova

Impianto subretinale

- Un impianto di protesi subretinale ha lo scopo di sostituire i fotorecettori della retina persi o danneggiati, per mezzo di fotodiodi ed elettrodi.
- Il dispositivo deve fornire un segnale analogico allo strato delle cellule bipolari, che viene poi elaborato e convertito dagli strati neurali retinici prima che questi lo trasmettano, attraverso il nervo ottico, alla corteccia visiva.
 - Si considera che il resto della struttura retinica sia integro (cellule bipolari, gangliari orizzontali e amacrine)

Impianto subretinale

- In questo approccio si impianta un micro componente di silicone, chiamato array di microfotodiodi dietro alla retina, tra la sclera e lo strato delle cellule bipolari
 - la luce incidente è trasformata in potenziali elettrici che stimolano le cellule bipolari a formare la sensazione visiva
 - Si by-passano i fotorecettori non funzionanti

Artificial Silicon Retina

- Artificial Silicon Retina (ASR), progettata da Obtobionics Corporation, nasce con l'obiettivo di compensare i meccanismi sensoriali e recettoriali dei coni e dei bastoncelli danneggiati
- Impiantando un array di microfotodiodi che non richiede alimentazione esterna
 - Attivati direttamente dalla luce solare incidente
 - in grado di scaricare impulsi di corrente opportuni in risposta agli stimoli luminosi

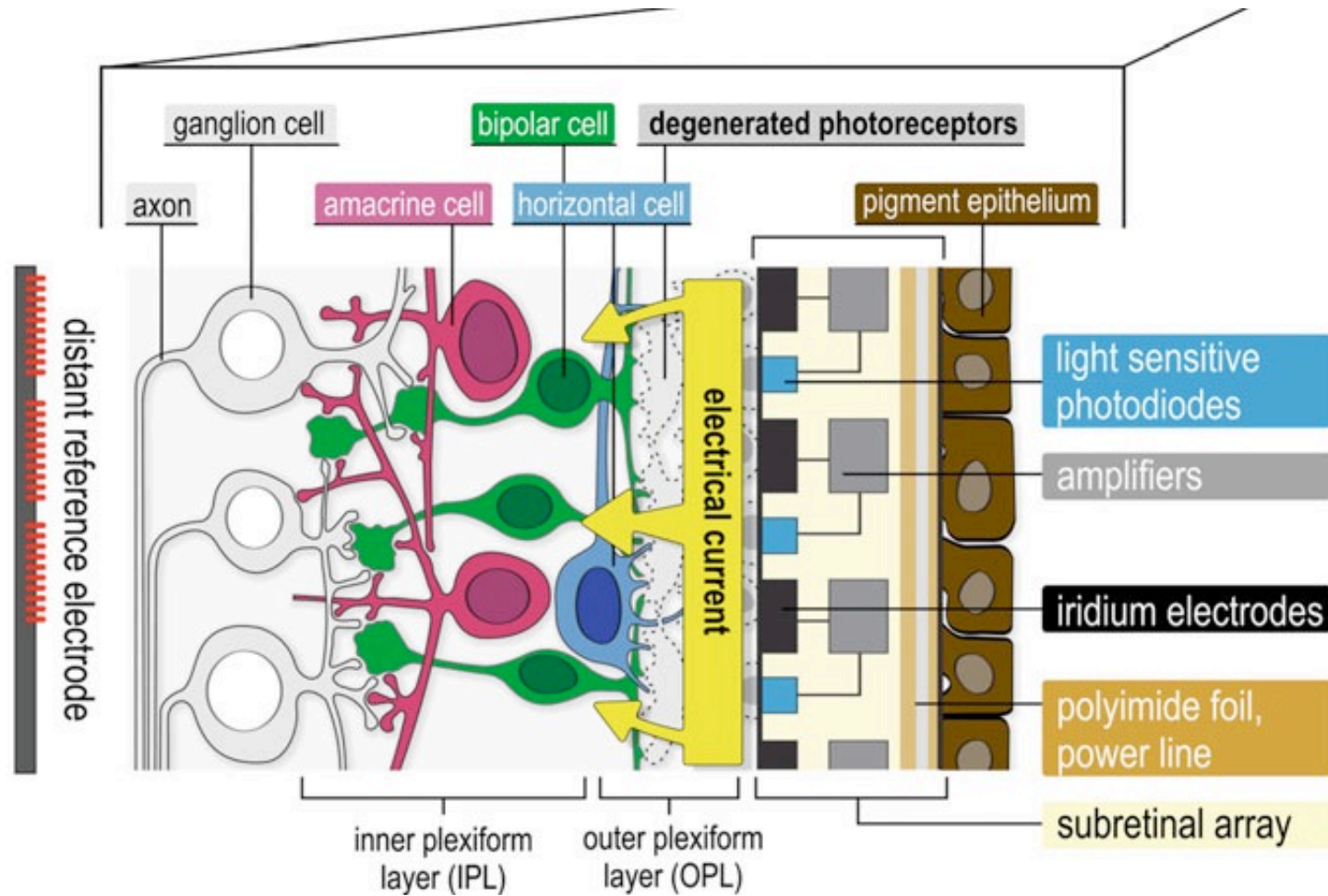
Struttura ASR

- L'array di microfotodiodi misura 2 mm in diametro e 25 μm in spessore ed è composto da 5000 microfotodiodi, ciascuno collegato al proprio elettrodo di stimolo.
- Il vantaggio della protesi è dato dalla possibilità di rimpiazzare i fotorecettori danneggiati senza la necessità di impiegare telecamera e sistemi di processamento dati esterni
 - Tipico delle protesi subretiniche
- Lo svantaggio: i microfotodiodi, stimolati direttamente dalla luce ambientale, non raggiungono un sufficiente livello di energia ad attivare i neuroni adiacenti
 - corrente sviluppata dell'ordine dei nano ampere (10^{-9} A), mentre la retina interna richiede una soglia di 10^{-6} A

Alpha IMS

- Alpha-IMS è sviluppata dalla Retinal Implant AG (Reutlingen), il dispositivo può essere schematizzato in tre componenti principali:
 - uno subretinale, una parte extraoculare ed una sezione subdermale

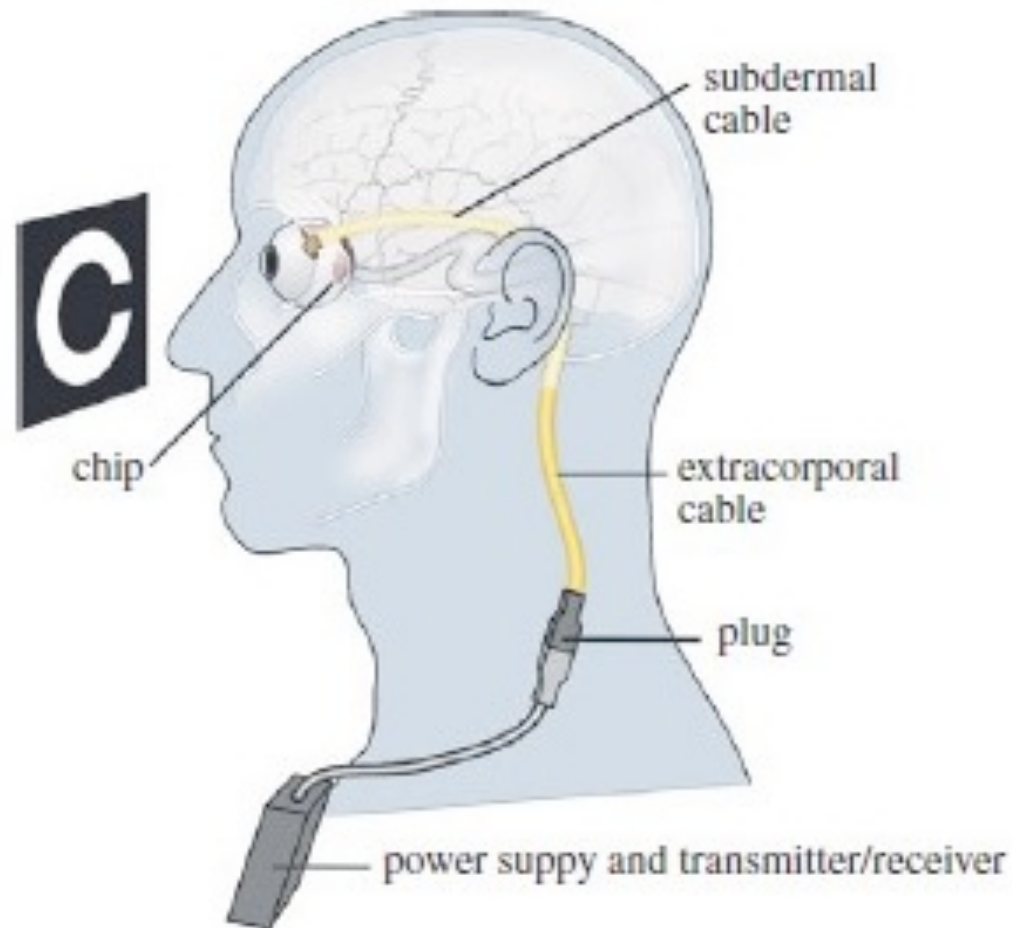
Principio di funzionamento



Alpha IMS

- L'unità subretinale è caratterizzata da una disposizione 4x4 di array di elettrodi di nitruro di titanio e un array di microfotodiodi, con 1600 fotodiodi posti sulla fovea.
- La sezione extraoculare è formata da 22 linee di connessione d'oro per la connessione esterna degli elettrodi di riferimento.
- La componente subdermale consiste in un cavo di silicone che arriva fino allo spazio retro auricolare, dove si connette con un'unità di controllo che eroga la potenza necessaria.

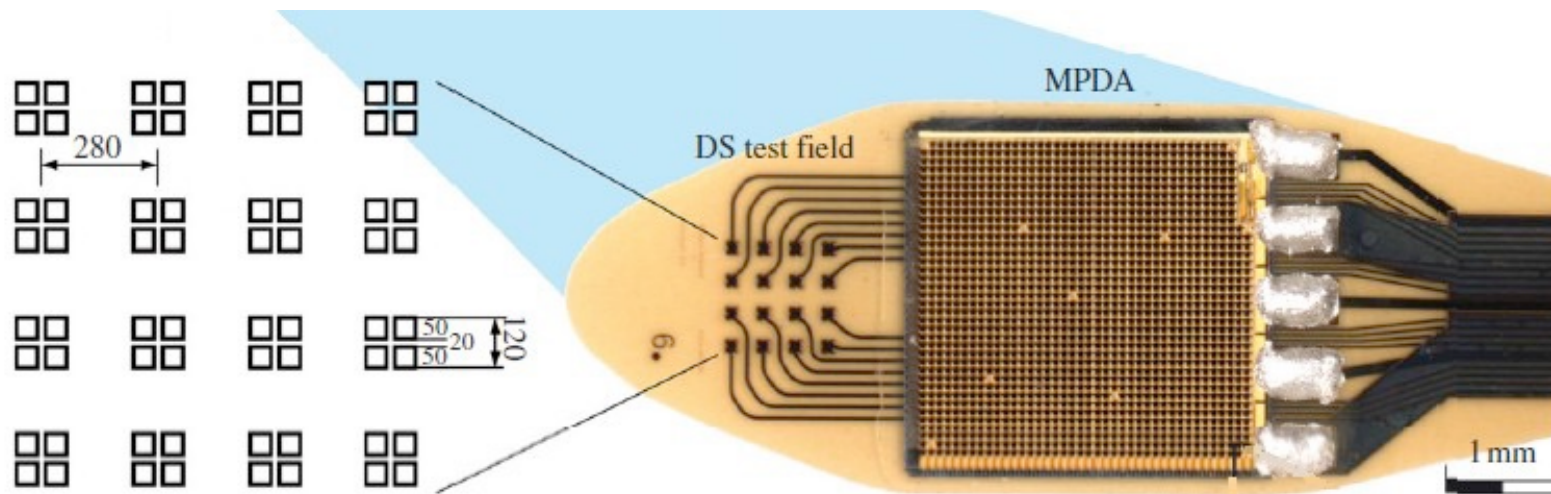
Struttura Alpha IMS



Struttura Alpha IMS

- L'array di micro fotodiodi (MPDA) è un chip CMOS sensibile alla luce di dimensioni 3.0x3.1mm con 1500 elementi, collocati su una lamina poliammidica spessa 25 μm
 - Ognuno dei 1500 elementi agisce in modo indipendente
 - Ogni elettrodo rilascia un impulso da 1 ms per ogni ciclo di funzionamento del sistema, tipicamente 5 Hz, settabile tra 1 e 20 Hz
- un secondo array di elettrodi (DS test field) è stato aggiunto per la valutazione delle caratteristiche elettrodo-interfaccia e per studiare l'efficacia di impulsi di corrente con differenti forme e polarità

Struttura Alpha IMS

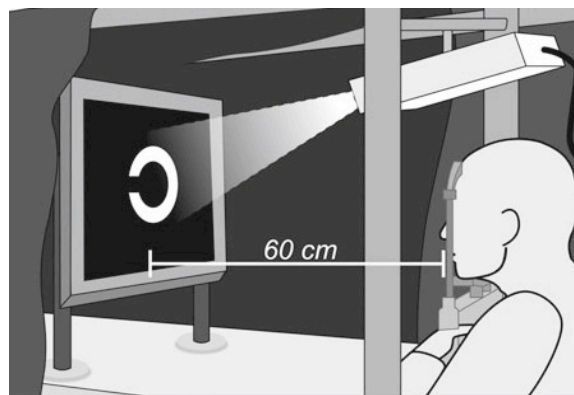


Struttura Alpha IMS

- Essenzialmente un'immagine è catturata simultaneamente più volte al secondo da tutti i fotodiodi.
- Le stimolazioni ripetitive pixelizzate sono fornite contemporaneamente da tutti gli elettrodi al gruppo delle cellule bipolari adiacenti.
- La quantità di corrente fornita da ogni elettrodo dipende dalla sensibilità di ogni fotodiodo.

Alpha IMS Test Clinici

- Esempi dei target sottoposti ai diversi pazienti

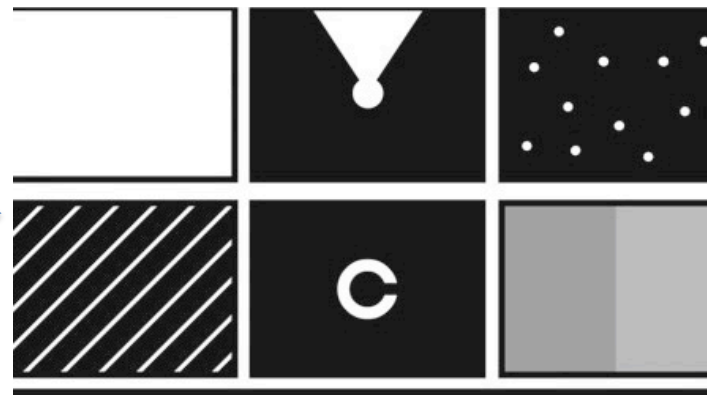


Set-up di proiezione



Test di attività quotidiane

Target per stimare la risoluzione spazio-temporale



Alpha IMS Test Clinici

- Alpha IMS è stata impiantata in 29 pazienti all'interno di un trial internazionale durato 12 mesi
 - Tübingen e Dresden in Germania; Budapest in Ungheria, Oxford e Londra in UK, Singapore e Hong Kong
- 21 partecipanti (72 %) hanno raggiunto l'obiettivo primario
 - Miglioramento delle attività quotidiane e di mobilità
 - 13 pazienti (44 %) hanno riportato la ripresa di funzionalità visive
- 25 partecipanti (86 %) hanno raggiunto l'obiettivo secondario:
 - Miglioramento significativo dell'acuità visive, della percezione della luce e/o di oggetti
- Ha ricevuto il marchio CE per l'Europa nel 2013, e un Sistema più avanzato con 1600 pixel e tempo di vita allungato è stato certificato nel 2016

Vantaggi delle protesi subretiniche

- La zona subretinale è privilegiata perchè meno soggetta a reazioni di compatibilità
- L'impianto non richiede punti di fissaggio nella sclera perchè si integra tra la retina e la coroide
- Potendo sfruttare la corretta relazione retinotopica tra luce percepita e elettrodi retinale, il paziente impiegherà meno tempo per saper utilizzare la protesi
- Il naturale movimento dell'occhio e dello sguardo permette di individuare gli oggetti nella scena
- Non sono previsti strumenti connessi con il viso/faccia perchè tutta l'elettronica di stimolazione è integrata all'interno del corpo

Protesi sopracoroidali

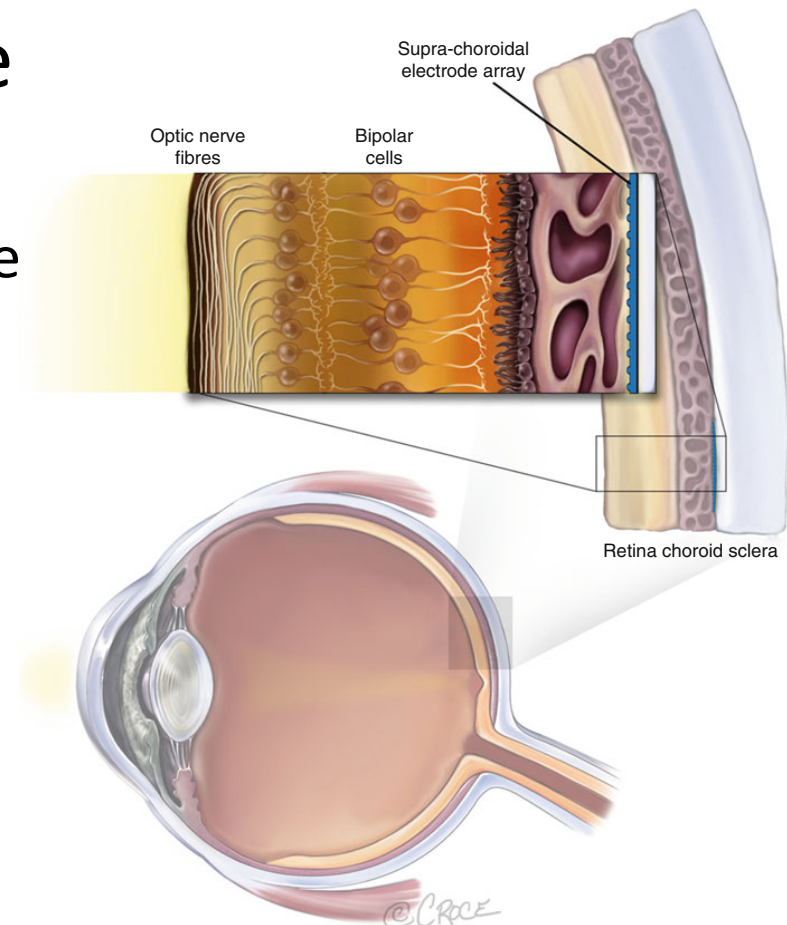
- Questi impianti sono posizionati tra la parte posteriore dell'occhio (coroide) e la parte più esterna di colore bianco (sclera)
 - La sclera gode di elevata stabilità e sicurezza per l'installazione dell'impianto
- I principali vantaggi:
 - Gli elettrodi non sono a contatto con la parte neurale della retina, minore rischio di danneggiamento della retina
 - Non interferisce con la restante struttura dell'occhio e quindi può coesistere con la visione residua
 - L'intervento chirurgico non richiede di penetrare la cavità vitrea per inserire l'impianto, quindi nessuna incisione corneale, estrazione di lenti intra-oculari e intervento nella retina

Protesi sopracoroidali

- Schema dell'occhio umano e rappresentazione della zona supracoroidale

- Imagine di Bionic Vision

- Australia, copyright Beth Croce



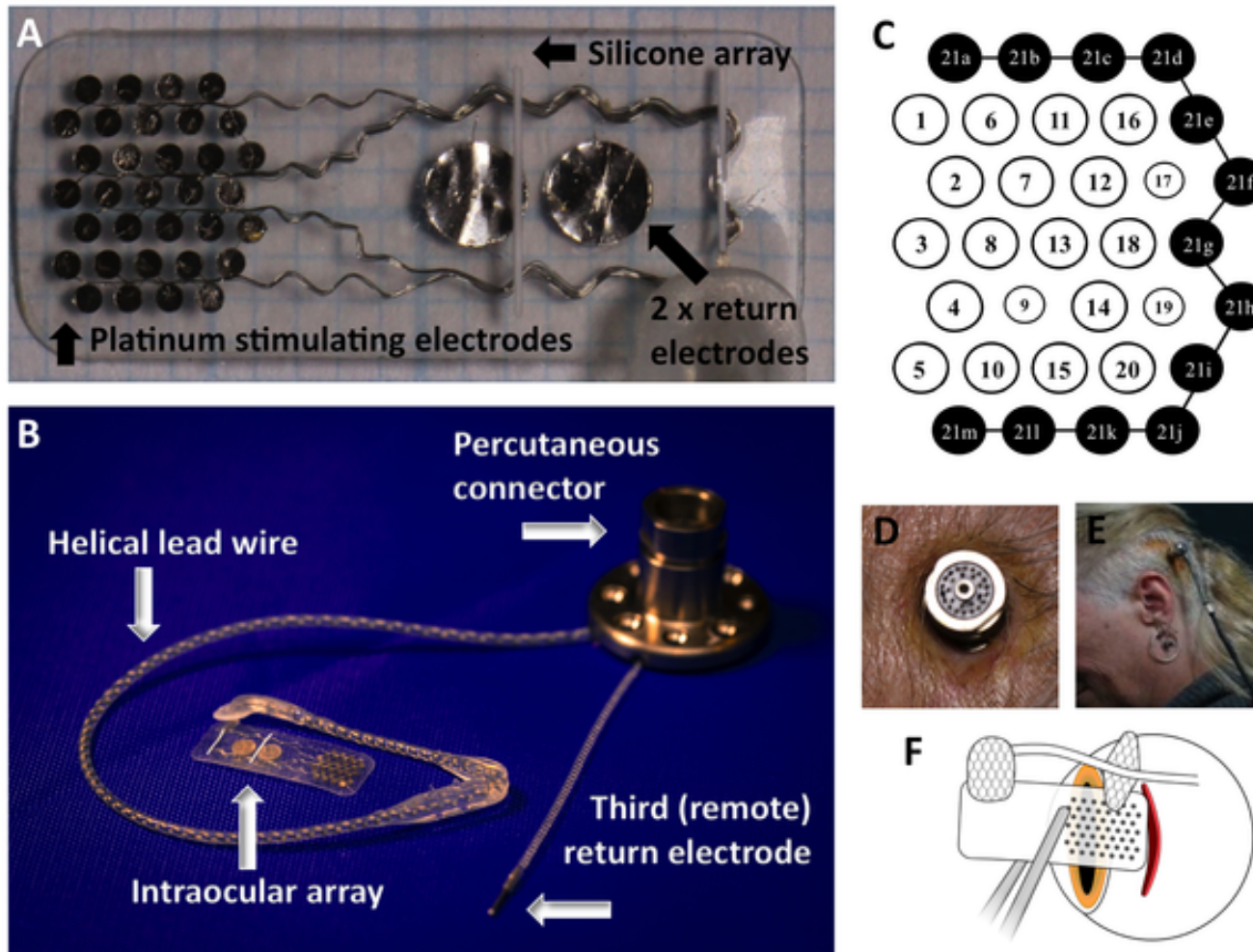
Protesi sopracoroidali

- Bionic Vision Australia (BVA), un consorzio di gruppi di ricerca Australiani che ha lavorato dal 2010 al 2015.
- BVA ha sviluppato 3 sistemi:
 - Uno a 44 canali
 - Testato poi in studi clinici effettuati nel 2012 nella forma a 24 canali
 - Un sistema a 99 canali

Struttura della protesi a 24 Canali

- Array di elettrodi intraoculare composto da substrato silconico con 33 elettrodi al platino (diametro: $30 \times 600 \mu\text{m}$, $3 \times 400 \mu\text{m}$) e 2 grandi elettrodi di ritorno (diameter: 2 mm).
 - Dimensioni complessive 19mm \times 8 mm
- Un terzo elettrodo remoto è stato impiantato dietro l'orecchio

Struttura della protesi a 24 Canali



Ayton LN, Blamey PJ, Guymer RH, Luu CD, Nayagam DAX, et al. (2014) First-in-Human Trial of a Novel Suprachoroidal Retinal Prosthesis. PLOS ONE 9(12): e115239. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115239>
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0115239>

Test Clinici

- Le funzioni visive sono state valutate attraverso 2 test:
 - the Basic Assessment of Light and Motion test (BaLM)
 - the Landolt C optotype recognition subtest estratto dal Freiburg Acuity and Contrast Test (FrACT)
 - Entrambi sono stati presentati ai soggetti in una stanza buia e usando un PC con monitor da 30 pollici posizionato a 57 cm di distanza visiva

Risultati

- 3 soggetti con RP hanno scelto di impiantare la protesi
 - 2 uomini 49 e 63 anni e una donna di 52
 - I dati sono stati raccolti per 1 anno
- Questo è stato il primo intervento chirurgico mondiale per impiantare una protesi retinica supracoroidale
 - La procedura chirurgica si è mostrata sicura e la posizione dell'impianto è stabile.
 - Il Sistema è in grado di provocare percezioni visive a tutti e 3 i soggetti
- Il sistema a elettrodi è stato ben tollerato dall'occhio e tutto il sistema di stimolazione è rimasto funzionante per tutto il periodo di un anno di test.

Analisi Risultati

- E' stato dimostrato che tutti soggetti hanno mostrato miglioramenti sulla localizzazione della luce
- Un paziente ha migliorato significativamente la sua acuità visiva
 - $\log\text{MAR} = 2.35$
 - Paragontato a $\log\text{MAR} 1.8$ per Argus II (60 elettrodi) e $\log\text{MAR} 1.43$ per Alpha IMS (1500 elettrodi) misurato con il Landolt C acuity test
- Va sottolineato che l'uso del Landolt C optotype tests nei soggetti con protesi ha risultati notevolmente diversi rispetto alla stima dell'acuità visiva per i soggeti sani
 - I soggetti con protesi devono usare processi diversi per ottenere la percezione

Protesi Corticali

- La struttura funzionale della protesi corticale, adatta per il trattamento di tutte le patologie che interessano la via di trasmissione visiva
- Prevede l'utilizzo di una telecamera e di un'unità di elaborazione dati esterne, collegate ad un chip e ad un array di microelettrodi impiantati a livello corticale

Protesi Corticali

- Il primo esperimento di stimolazione elettrica della corteccia visiva fu condotto nel 1968 da Giles Brindley presso l'università di Cambridge
 - stimolò elettricamente la corteccia visiva di alcuni volontari ciechi tramite l'impianto di un array di 80 elettrodi.
- Esperimenti simili furono condotti in seguito da W. H. Dobelle presso la University of Utah
 - inviando corrente ad un singolo elettrodo si ha da parte del paziente la percezione di un fosfene, somministrando corrente a più elettrodi contemporaneamente il soggetto avverte più fosfeni distinti.

Protesi Corticali

- Il dispositivo ideato da Dobelle rappresenta il primo rilevante tentativo di ripristino della visione, volto a consentire l'indipendenza di movimento ai pazienti non vedenti.
- La protesi utilizza 64 elettrodi piatti che ricevono impulsi da un generatore, sotto il controllo di un piccolo computer.
- I dati sono forniti da una videocamera miniaturizzata e da un sensore ad ultrasuoni, utilizzato per il calcolo delle distanze.
- L'immagine acquisita dalla videocamera viene convertita dal processore in una serie di segnali elettrici, che giungono all'array di elettrodi.

Struttura Protesi

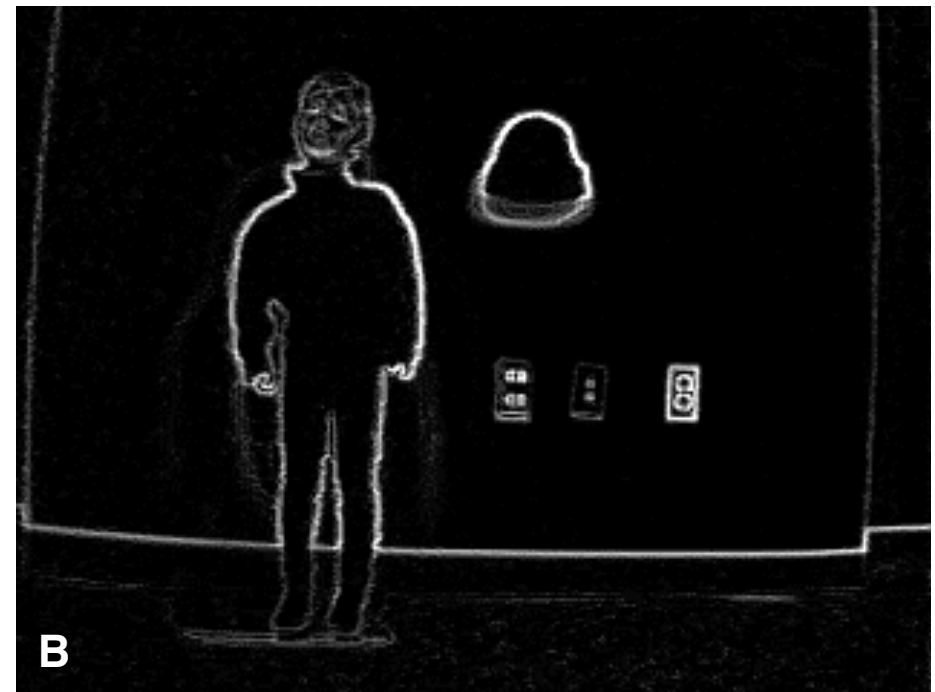


Struttura Protesi

- L'elettrode array è posizionato a contatto con la superficie della corteccia occipitale attraverso l'impianto transcranico che stimola la regione corticale producendo uno specifico pattern di punti luminosi che formano l'immagine.
- L'immagine che si ottiene con questo tipo di stimolazione è abbastanza definita per permettere al paziente di muoversi nello spazio e percepire la forma e la posizione degli oggetti
 - non è possibile ottenere una qualità dell'immagine ottimale, che garantisca la lettura di un testo o la visione a colori.
- Nelle protesi più recenti si sta tentando di migliorare la qualità della visione, aumentando il numero di elettrodi per array, e di limitare i problemi legati alla sovrastimolazione

Analisi Test

- Test Effettuati sui volontari



Analisi Test

- Il volontario è capace di sapersi muovere in uno scenario con 3 manichini senza scontrarsi con essi
 - Uno in posizione eretta, uno seduto (femmina) e uno che rappresenta un bambino sempre in posizione eretta
- Riesce a prelevare un cappello posizionato in maniera casuale nella stanza
- Riesce a individuare i manichini posizionando il cappello su uno di questi su richiesta

Valutazione Pazienti per protesi Corticale

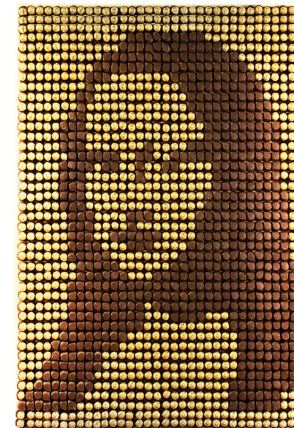
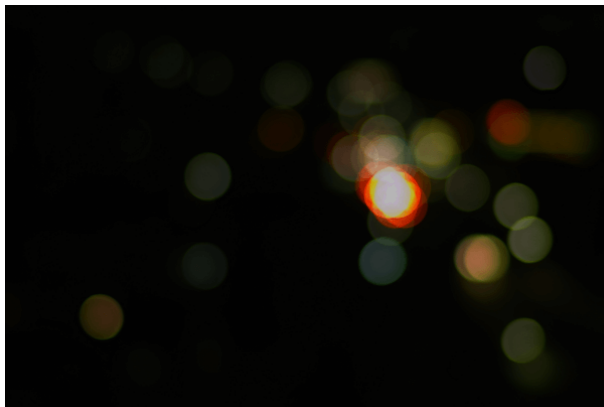
- La scelta di un approccio alla riabilitazione visiva tramite protesi corticale deve essere fatta solo dopo aver accuratamente valutato la possibilità di utilizzare una protesi retinica
 - i potenziali soggetti per la protesi corticale, sono quelli che manifestano un fallimento completo alla stimolazione della retina o del nervo ottico.
- In seguito all'accertamento che non esiste funzionalità residua della retina e del nervo ottico, deve essere valutata la capacità di ottenere percezioni visive soddisfacenti attraverso la stimolazione della corteccia

Limitazioni delle protesi corticali

- L'operazione chirurgica è una procedura operatoria estremamente complessa
 - include l'apertura del teschio e dello spazio intradurale, per poter impiantare il sistema di stimolazione
- L'inserimento della protesi nel tessuto cerebrale è di per sé un evento traumatico, che comporta una reazione del tessuto che può variare nel tempo. Tra i rischi ci sono:
 - emorragie post operatorie
 - Rigonfiamenti
 - infarto dei tessuti
 - infezioni, crisi e deficit neurologici
- Ognuno di queste situazioni ritarda o preclude la fase di test dell'impianto.

Limitazioni dei sistemi attuali

- Bassa risoluzione: nessuna delle protesi analizzate finora è riuscita a replicare una visione a “pixel”
 - Si riesce ad ottenere soltanto la generazione dei fosfeni per evocare la percezione visiva
 - A causa della scarsa acuità visiva, la percezione di forme “complesse” necessita continui movimenti della testa per ricostruire l’immagine corretta



Limitazioni dei sistemi attuali

- Limitato campo visivo
 - limitati dalla dimensione dell'incisione che può essere fatta per l'inserimento dell'impianto. Range 15-20°
- Posizione della Foto/Video camere
 - ottenere una scansione dell'oggetti da diversi punti di vista è possibile solo muovendo la testa
 - telecamera montata sugli occhiali
 - indizi sul movimento dell'occhio e sulla stimolazione ottica possono essere integrati per una percezione più naturale degli oggetti
 - Come succede in Alpha-IMS, protesi subretinica
- Algoritmi di elaborazione delle immagini
 - migliorare la percezione di oggetti di interesse trascurando la percezione di oggetti non di interesse

Sviluppi Futuri

- L'elettronica delle protesi
 - miglioramento della trasmissione di dati e di alimentazione wireless
 - Sistema di ricezione solidale con l'occhio, vedi sistemi Argus II e Alpha-IMI
 - il ricevitore si muoverà con lo spostamento dell'occhio, diminuendo la capacità di accoppiamento tra trasmissione e ricezione
 - miglioramento degli elettrodi di stimolazione
 - Richiesta elevata densità di elettrodi per ottenere una visione dettagliata

Sintesi sui Sviluppi futuri

- La ricerca di nuovi materiali e processi di fabbricazione per proteggere la protesi dagli agenti esterni, mantenendo comunque la struttura di contenimento più sottile possibile
- Architetture elettroniche efficienti per ridurre il consumo di energia e nel contempo permettere il corretto livello di stimolazione
- Elettrodi capaci di adattarsi alla conformazione della retina (circa sferica)
- Elettrodi capaci di sostenere una grande densità di carica, di modo da poter aumentare il numero complessivo di elettrodi e aumentare la risoluzione della protesi
- Algoritmi di elaborazione video volti a migliorare le informazioni disponibili nell'immagine