

## INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi è quello di ideare e realizzare un nuovo test di screening della miopia facendo uso di un particolare tipo di illusioni ottiche chiamate *immagini ibride*. Queste illusioni, ottenute dalla sovrapposizione di due diverse immagini originarie, filtrate in modo da presentare un diverso contenuto di frequenze spaziali, inducono nel soggetto una diversa percezione e interpretazione al variare dalle condizioni di osservazione. Un soggetto può percepire in modo nettamente prevalente l'immagine originaria filtrata con un filtro passa-alto, quindi caratterizzata da dettagli fini, oppure, l'immagine sottoposta ad un filtro passa-basso, composta da variazioni graduali e spazialmente estese. Tali differenze nell'interpretazione dell'immagine ibrida, usualmente influenzate dalle sue dimensioni o dalla sua distanza dal soggetto, possono essere anche influenzate dall'acuità visiva dell'osservatore, suggerendo la possibilità di ideare un test di screening della miopia utilizzando immagini ibride, opportunamente realizzate e ottimizzate in vista degli scopi prefissati.

In questo studio, svolgendo preliminarmente un lavoro di ottimizzazione basato sulla comparazione tra l'interpretazione dello stimolo visivo e l'acuità visiva misurata tramite l'ottotipo, diverse immagini ibride originali da noi realizzate sono state selezionate allo scopo di costruire e valutare l'attendibilità di un test finale. Durante questo lavoro di ottimizzazione, ad ogni soggetto sono state applicate, tramite aggiunta di lenti positive, le opportune correzioni allo scopo di indurre diversi e determinati valori dell'acuità visiva. Dai dati ottenuti, sono stati ricavati i parametri critici, in particolare le componenti di frequenze spaziali che devono essere filtrate dalle immagini originarie e che andranno a determinare la qualità e l'eventuale selezione di ogni immagine ibrida. Per il test finale, sono poi state presentate le immagini ad un ampio campione di partecipanti, registrando le loro risposte insieme alla loro acuità visiva, ripetendo anche il test nel caso della presenza di una abituale correzione. L'analisi dei risultati ha dimostrato la possibilità di realizzare un test sullo screening della miopia con alto grado di specificità e, in particolare, di sensibilità. Questo nuovo tipo di screening vede come punti di forza la semplicità di utilizzo, la capacità di intrattenimento e la possibile somministrazione anche a soggetti con limitate capacità di comunicazione, come i bambini molto piccoli. Ciò suggerisce la chiara possibilità di applicazioni per un'individuazione di una possibile miopia, permettendo un successivo indirizzamento dei soggetti positivi al test verso una visita optometrica standard. Questo nuovo tipo di screening vede come punti di forza la semplicità di utilizzo, la capacità di intrattenimento e la possibile somministrazione anche a soggetti con limitate capacità di comunicazione, come i bambini molto piccoli.

Le illusioni ottiche, come le immagini ibride, possono avere diverse applicazioni, come nell'ambito dell'arte, della psicologia, della scienza e nell'educazione. Esse sono spesso utilizzate dagli artisti per creare opere d'arte che catturano l'attenzione dello spettatore, offrendo loro un modo innovativo di giocare con le molteplicità di significato e di interpretazione e di creare nuovi effetti visivi. Le illusioni ottiche sono anche usate come strumento per lo studio della percezione visiva: valutando le reazioni delle persone, gli psicologi possono studiare i meccanismi mentali coinvolti nell'interpretazione delle informazioni visive.

A nostra conoscenza, per quanto riguarda le immagini ibride, l'unica proposta di utilizzarle per la misura in ambito optometrico è stata per ora riportata da S. Peeraya, utilizzando la sovrapposizione di numeri e lettere [1]. Per quanto riguarda la creazione di questo tipo di illusioni, il compito delle frequenze spaziali ricopre un ruolo cruciale durante l'interpretazione di un'immagine ibrida in funzione dell'acuità visiva. Si dimostra infatti che, con un'accurata ricerca dei tagli di frequenza delle due immagini, si possa generare una buona immagine ibrida, ossia un'illusione ottica caratterizzata da un'interpretazione non ambigua e stabile [2]. Un altro studio sulle immagini ibride che troviamo in letteratura è quello condotto da Oliva et Al., dove si analizzano le interpretazioni del soggetto al variare del tempo di presentazione dello stimolo o la distanza di visione [3]. Viene riportato che, tenendo conto dei meccanismi di raggruppamento percettivo, è possibile creare immagini ibride convincenti con percezioni stabili ad ogni distanza. Un altro approfondimento è stato effettuato da Peeraya e Yamagichi [4], i quali hanno presentato una strategia per permettere la creazione di immagini ibride

con diverse forme e contenuti, inserendo del rumore nell'immagine ad alta frequenza, in modo tale da rendere insignificante il rumore della bassa frequenza alle brevi distanze.

Riporto in seguito l'immagine ibrida *pecora-cane* (una delle due immagini ibride utilizzate per questo lavoro insieme a *lupo-gatto*) a due diverse dimensioni, per dimostrare come, fissata la distanza di osservazione, la vostra percezione possa cambiare a seconda della dimensione dell'immagine stessa.



## MATERIALI E METODI

Le immagini ibride presenti in questo studio sono originali e create attraverso un nostro programma scritto con il software Matlab. È stato deciso di optare per l'uso di immagini che raffigurassero animali, pensando anche ai possibili soggetti del test. Tale test dovrebbe infatti essere adatto anche ai bambini molto piccoli, che potrebbero non aver ancora sviluppato la capacità di distinguere le lettere o i simboli, così anche a tutte le persone che potrebbero incontrare difficoltà nella comunicazione. Inoltre, per evitare complicazioni aggiuntive legate alla percezione cromatica, le immagini ibride qui create sono presentate in scala di grigi, nonostante la possibilità di realizzarle anche a colori.

Per realizzare un'immagine ibrida (*HI*) vengono selezionate due immagini con la stessa dimensione in pixel, in modo da creare matrici numeriche delle stesse dimensioni e quindi sovrapponibili. Si passa poi al calcolo numerico delle trasformate di Fourier 2D delle due immagini scelte utilizzando l'algoritmo chiamato Fast Fourier Transform (FFT). Nel dominio di Fourier, le due immagini vengono filtrate utilizzando il teorema di convoluzione, ovvero moltiplicandole per filtri gaussiani bidimensionali (filtro passa-alto e filtro passa-basso) con larghezze differenti. Le frequenze di taglio di ciascun filtro sono definite in questo lavoro come le larghezze dei filtri utilizzati e sono espresse in cicli/immagine, poiché sono indipendenti dalla risoluzione dell'immagine [3]. Le due immagini così filtrate vengono così sovrapposte per creare l'immagine ibrida finale.

Un parametro estremamente importante per la realizzazione delle *HI* di qualità è la differenza (*gap*) tra le frequenze di taglio del filtro passa alto e quello del passa basso, il quale serve per eliminare l'interpretazione ambigua su una vasta gamma di distanze e dimensioni. Il *gap* si mira ad ottenere una stabilità il più possibile elevata nell'interpretazione dell'immagine a parità di acuità visiva. Con il termine "stabilità" intendiamo che ci sono ampi intervalli di distanza, dimensioni o acuità visiva in cui diversi osservatori sperimentano lo stesso risultato, con l'impossibilità di un cambio cosciente o inconscio tra due interpretazioni diverse. Infine, oltre alla selezione delle frequenze di taglio, è importante anche utilizzare due immagini che si possano sovrapporre in modo coerente: questo effetto può essere ottenuto, ad esempio, allineando attentamente le caratteristiche chiave come gli occhi, il naso e la bocca. Nel caso delle nostre immagini ibride *pecora-cane* e *lupo-gatto*, abbiamo dedicato particolare attenzione all'allineamento dei musi degli animali, facendo in modo che l'immagine ad alte frequenze non andasse a disturbare troppo l'immagine sottostante e viceversa, contribuendo così a migliorare la qualità e l'efficacia dell'immagine ibrida stessa.

Per la ricerca delle migliori immagini ibride abbiamo svolto un primo studio che coinvolge 24 persone (11 maschi e 13 femmine) con un'età compresa tra 20 e 30 anni aventi un'acuità visiva non inferiore a -0.08 LogMAR (12/10) nell'occhio. Abbiamo considerato soggetti che rientrassero in tale fascia di età a causa della sensibilità al contrasto: uno dei motivi più frequenti della sua riduzione è infatti proprio l'invecchiamento fisiologico del sistema visivo. Inoltre, è stato deciso di condurre questa ricerca in condizione monoculare, in modo tale da semplificare il più possibile lo studio, andando ad eliminare ulteriori complicazioni che potrebbero insorgere in caso di visione binoculare. Un'altra semplificazione che abbiamo apportato allo studio è la scelta di immagini in bianco e nero, escludendo quindi ulteriori complicazioni dovute a differenze nella percezione cromatica dei soggetti.

In questa fase di ottimizzazione, il cambiamento delle condizioni di osservazione nel soggetto è stato ottenuto tramite un grado di miopia indotto con l'uso di lenti positive, invece del solito cambiamento di distanza e dimensione. Dunque, allo scopo di trovare delle immagini ottimali, presentiamo un'analisi relativa al ruolo nell'interpretazione delle frequenze spaziali di un'immagine ibrida, tenendo conto dell'acuità visiva dell'osservatore.

Il soggetto esaminato è posizionato su una sedia di fronte all'ottotipo digitale *Topcon* ad una distanza di 5.20 m, con l'occhio sinistro occluso e con la correzione abituale sull'occhio destro. L'ottotipo in questione ha una

luminanza pari a  $227 \text{ cd/m}^2$  nello sfondo bianco e a  $5.11 \text{ cd/m}^2$  nelle lettere nere (luminanza misurata con il luminanzometro a una distanza di  $2 \text{ m}$ ).

Vengono aggiunte lenti positive oppure rimosse lenti negative con passi di  $0.25 \text{ D}$  allo scopo di ottenere diversi valori dell'acuità visiva dai  $12/10$  ai  $2/10$  con passi di  $2/10$ , inducendo miopia nei soggetti. Per valutare ogni acuità visiva, il soggetto deve essere in grado di leggere almeno tre lettere su cinque, le quali vengono presentate in gruppi di cinque alla volta e in modo casuale.

Nel caso di soggetti astigmatici, la correzione dell'astigmatismo viene effettuata adeguatamente, anche per la successiva fase di presentazioni delle immagini ibride; il nostro studio infatti è finalizzato esclusivamente per lo screening della miopia; pertanto, l'astigmatismo viene corretto in modo che non influenzi i risultati.

Per questo studio abbiamo utilizzato diverse versioni di immagini ibride che si differiscono per la loro scelta nella frequenza di taglio: 7 immagini pecora-cane e 6 lupo-gatto. Sono state realizzate anche immagini con  $\text{gap}=0$  per verificare che tale scelta comporta l'introduzione di una zona ambigua persistente nell'interpretazione e immagini con  $\text{gap}$  negativo è stata volutamente introdotta per evidenziare l'immagine a bassa frequenza, al fine di far diventare il test meno monotono per il soggetto.

Una volta miopizzato, il soggetto viene posizionato su uno sgabello a una distanza di due metri dallo schermo. Su quest'ultimo vengono presentate le immagini ibride per un secondo, tempo sufficiente per percepire sia le alte che basse frequenze spaziali [3], con dimensioni di  $21,5 \text{ cm}$  per lato. Ciascuna delle immagini pecora-cane è presentata sette volte, totalizzando 49 esposizioni, mentre per l'immagine lupo-gatto sono 42. La sequenza di presentazione è casuale, al fine di evitare possibili influenze sulle scelte del soggetto. Per ciascun valore dell'acuità visiva, il soggetto deve indicare l'interpretazione dell'HI scegliendo forzatamente una delle due possibili risposte (metodo "*Two alternative forced choice*"). L'esecuzione di questa fase è stata effettuata mediante l'utilizzo di un programma sulla piattaforma MatLab in combinazione con psychtoolbox.

L'illuminazione ambientale rimane costante per tutte le misure: è presente solo un neon acceso dietro al soggetto. Si è ritenuto che questa sia la condizione di illuminazione ottimale, poiché la sorgente luminosa non è abbagliante per il soggetto ed allo stesso tempo non si tratta neanche di una condizione di totale oscurità, la quale comporterebbe un incremento delle aberrazioni a causa dell'aumento del diametro pupillare ed una conseguente riduzione dell'acuità visiva.

La scelta delle migliori immagini ibride è stata eseguita dopo l'analisi delle relative curve psicometriche, che sono state realizzate tramite fit con un programma MatLab, unendo i dati di tutti i 24 soggetti. Una *curva psicometrica* è un grafico che rappresenta la relazione tra una variabile psicofisica e la misura delle risposte di un individuo a stimoli specifici. Nel nostro caso, nelle ordinate vengono riportate le risposte normalizzate del soggetto, mentre nelle ascisse è rappresentata in modo decrescente l'acuità visiva espressa in LogMAR. I punti sperimentali che rappresentano la somma normalizzata dei soggetti sono stati sottoposti al fit della curva psicometrica.

Le curve psicometriche sono caratterizzate da due importanti parametri che sono la *soglia* e la *pendenza*. La soglia è il punto nel quale la curva raggiunge il valore 0.5, che nel nostro caso corrisponde al valore di acuità visiva per cui il soggetto è maggiormente incerto nella scelta delle due immagini; la pendenza invece, misura quanto velocemente cambia la risposta al variare l'acuità visiva.

Questi due parametri sono stati utilizzati per selezionare curve con maggior pendenza, ovvero quelle che discriminano al meglio l'acuità visiva, individuando così zone di ambiguità molto ristrette. Il valore di soglia invece deve risultare in una regione intermedia di acuità visiva, cioè che sia ragionevole valutare la presenza di un'eventuale miopia. Questi due parametri si modificano a seconda dell'immagine considerata, specialmente in relazione ai tagli di frequenza selezionati.

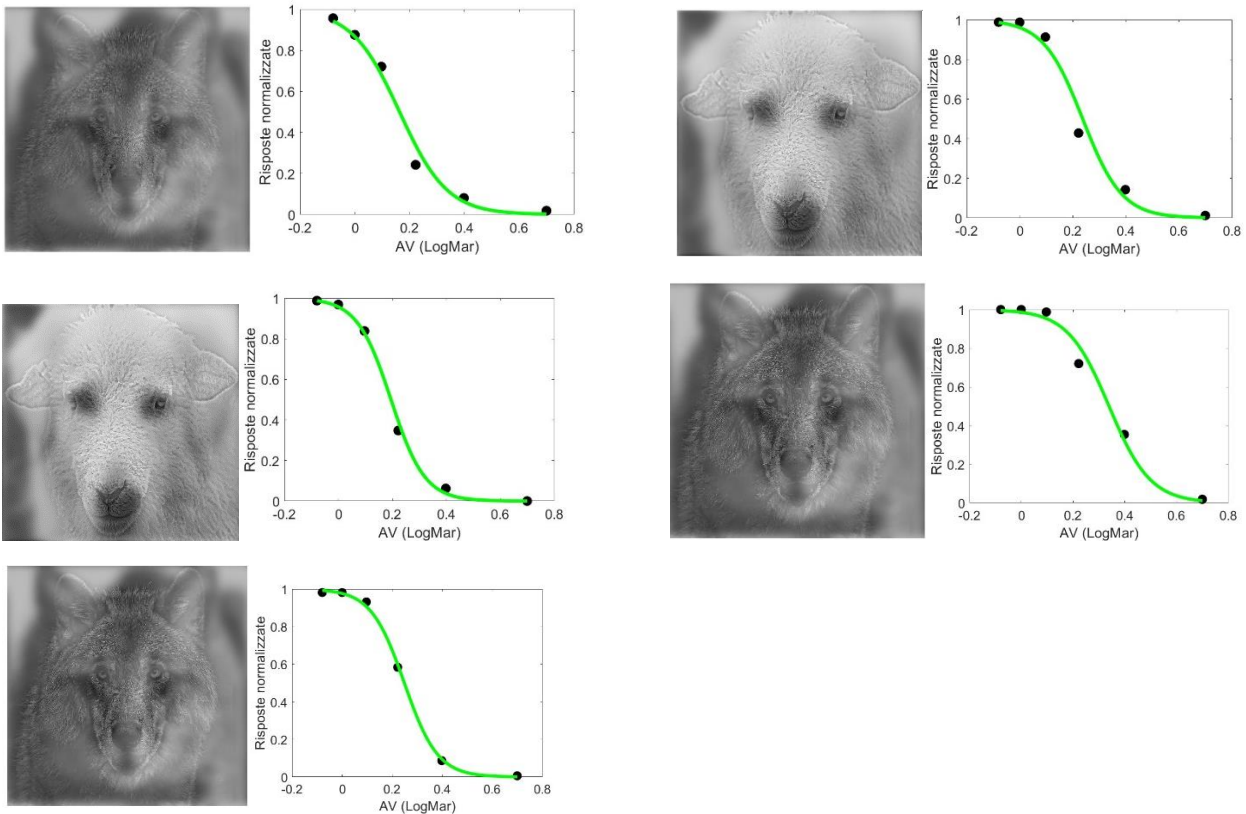
Una volta finita la fase di ottimizzazione si passa al test vero e proprio, il quale mira a creare e simulare un nuovo tipo di test per lo screening della miopia. Per questa fase finale dello studio, è stato selezionato un campione di 81 persone, con un'età media  $22 \pm 6$  anni composto da 37 maschi e 44 femmine. La scelta di un campione con età media bassa è stata dettata dalla facilità di reclutare persone in questa fascia di età all'interno del dipartimento di fisica dell'università di Firenze. Ogni partecipante è stato posto di fronte a uno schermo, mantenendo una distanza di due metri, dove le 5 migliori immagini ibride (selezionate nel primo studio) sono state presentate per una singola ripetizione. Le condizioni ambientali e le dimensioni delle immagini, pari a 21.5 cm per lato, sono rimaste le stesse che erano state utilizzate nella fase di ottimizzazione. In questa seconda parte di studio sono state esposte per 5 secondi ciascuna, consentendo un tempo sufficiente per formulare una risposta definitiva anche in situazioni di ambiguità. Il test è stato svolto in condizione monoculare e ripetuto per entrambi gli occhi. I soggetti ametropi sono stati misurati sia senza correzione che con la loro correzione abituale, mentre gli eventuali astigmatismi sono stati sempre corretti in tutte le due situazioni sperimentali. Dopo la presentazione di ogni immagine il soggetto doveva rispondere se aveva visto l'immagine ad alte frequenze (pecora/lupo) o a basse frequenze (cane/gatto). Anche in questo caso il soggetto doveva rispondere forzatamente tra le due opzioni.

Una volta raccolte le risposte dei soggetti, vengono poi confrontate con il cosiddetto "*Gold standard*", ovvero un test che fornisce prove autorevoli e presumibilmente indiscutibili. Quest'ultimo, nel nostro caso, è stata la misura tramite l'ottotipo digitale *Topcon*. Ho quindi misurato l'acuità visiva naturale e, in caso di soggetti ametropi, anche l'acuità visiva con la correzione abituale.

Per valutare il nostro test di screening basato sulle immagini ibride abbiamo utilizzato i concetti, derivati dalla statistica medica, di *sensibilità* e di *specificità*, che risultano indicatori essenziali per valutare l'attendibilità del test. La sensibilità è definita come la percentuale di "veri positivi" tra tutti i soggetti che presentano una certa condizione (nel nostro caso soggetti che hanno un'ametropia). La specificità è la percentuale di "veri negativi" tra tutti i soggetti che non hanno un'ametropia (soggetti emmetropi). In altre parole, è la capacità del test o dello strumento di ottenere risultati negativi per una persona che non presenta quella condizione. Sensibilità e specificità sono inversamente correlate: all'aumentare della sensibilità, la specificità tende a diminuire e viceversa. Quindi, test altamente sensibili porteranno a massimizzare la probabilità che i pazienti ametropi risultino positivi, mentre test altamente specifici mostreranno che i pazienti senza condizione (negativi) non hanno alcun difetto visivo. Inoltre, sono due parametri che variano al cambiare della soglia di acuità visiva presa in considerazione.

## RISULTATI

Nelle seguenti figure sono riportate le 5 migliori immagine ibride selezionate in questa prima fase di ottimizzazione e sono successivamente utilizzate durante il test finale. A sinistra si riporta l'immagine ibrida, mentre a destra sono mostrati i punti sperimentali (cerchi neri) insieme al relativo fit con la curva psicometrica (in verde).



La caratteristica che accomuna tutte e le 5 migliori immagini ibride, motivo per il quale sono state selezionate durante la fase di ottimizzazione, è la presenza di una zona di ambiguità molto limitata tra l'acuità visiva di 0.1 e 0.3 LogMar (che corrispondono a circa 8/10 e 5/10). Questo comporta ad avere una buona probabilità che il soggetto, avente un'acuità visiva minore di 0.1 LogMar, percepisca l'immagine filtrata ad alte frequenze spaziali (pecora/lupo), viceversa con un'acuità visiva superiore a 0.3 LogMar, l'interpretazione prevalente dovrebbe essere l'immagine filtrata a basse frequenze spaziali (cane/gatto). Per quanto riguarda la pendenza della curva psicometrica, un valore elevato diminuisce l'intervallo di acuità visiva in cui si verifica l'ambiguità. Questo rende l'immagine ibrida molto più discriminante e induce il soggetto a rispondere con maggiore decisione. Abbiamo scelto le immagini con valori di pendenza che si allontanassero il più possibile dal valore 0 (pendenza=0 corrisponderebbe a una curva piatta) come indicato in grassetto nelle seguenti tabelle.

Immagine	Tipo	Soglia (LogMar)	Pendenza	$f_h$ (cy/imm)	$f_l$ (cy/imm)	Gap
1	<i>pecora-cane</i>	0.258±0.008	-15.0±1.0	14	5	9
2	<i>pecora-cane</i>	0.237±0.008	-13.5±0.8	16	5	11
3	<i>pecora-cane</i>	0.195±0.009	-16.0±1.2	15	7	8
4	<i>pecora-cane</i>	0.146±0.008	-11.9±0.7	15	9	6
5	<i>pecora-cane</i>	0.294±0.010	-13.6±0.9	15	4	11
6	<i>pecora-cane</i>	-0.16±0.03	-7.0±0.8	18	18	0
7	<i>pecora-cane</i>	ND	ND	30	37	-7

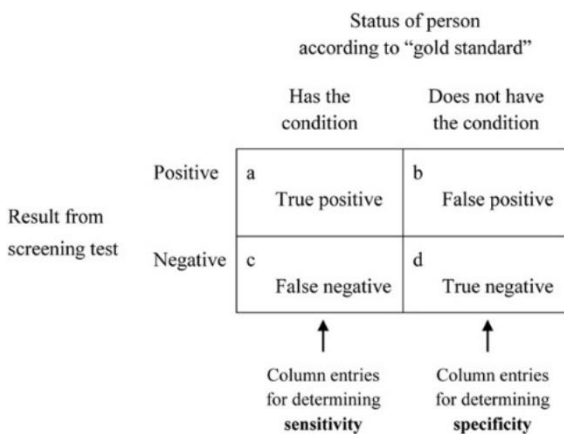
Immagine	Tipo	Soglia (LogMar)	Pendenza	$f_h$ (cy/imm)	$f_l$ (cy/imm)	Gap
1	<i>lupo-gatto</i>	0.163±0.008	-11.5±0.8	14	6	8
2	<i>lupo-gatto</i>	0.140±0.007	-11.5±0.7	13	7	6
3	<i>lupo-gatto</i>	0.339±0.011	-12.5±0.9	8	5	3
4	<i>lupo-gatto</i>	0.249±0.009	-15.0±1.1	9	6	3
5	<i>lupo-gatto</i>	0.054±0.009	-9.2±0.7	10	10	0
6	<i>lupo-gatto</i>	ND	ND	21	26	-5

Quindi, dati questi valori, le 5 immagini ibride selezionate permettono di sviluppare un test che possa essere usato come strumento per lo screening della miopia, in base alle risposte del soggetto. Le restanti immagini ibride, non soddisfacendo questa caratteristica, sono state scartate in vista della seconda fase dello studio, poiché la zona di ambiguità si estende su una vasta gamma di valori di acuità visiva e che quindi non possono essere utilizzate come test di screening. L'acronimo ND, citato nelle tabelle appena riportate, sta per "non definibile" poiché l'incertezza relativa ai risultati del fit risulta maggiore rispetto ai valori stessi; questo fa sì che i valori perdano di significato.

Una volta raccolte le risposte date da tutte le 81 persone durante il test finale, ho calcolato la sensibilità e la specificità di ciascuna delle 5 migliori immagini ibride. Questi due parametri variano al soggetto al test è la seguente:

- *positivo*= soggetto che ha interpretato l'immagine filtrata a basse frequenze;
- *negativo*= soggetto che ha interpretato l'immagine filtrata ad alte frequenze.

I risultati sono mostrati nelle tabelle 2x2, tipiche per presentare i risultati di un esame diagnostico, per ciascuna delle 5 migliori immagini ibride.



Nella tabella sono riportati i seguenti valori: in *a* il numero delle persone denominate come "Veri positivi", in *b* "Falsi positivi", in *c* "Falsi negativi" ed infine in *d* "Veri negativi".

Quindi, in base alle risposte del soggetto al test e la misura tramite l'ottotipo (gold standard), abbiamo le seguenti possibilità:

- "Veri positivi": i soggetti che sono risultati positivi al test (interpretazione di immagine a bassa frequenza) e per il gold standard risultano avere una acuità visiva inferiore a 8/10;
- "Falsi positivi": i soggetti che sono risultati positivi al test, ma con acuità visiva maggiore o uguale a 8/10 per il gold standard;
- "Veri negativi": i soggetti che sono risultati negativi al test (interpretazione di immagine ad alta frequenza) e per il gold standard risultano avere una acuità visiva maggiore o uguale a 8/10;
- "Falsi negativi": i soggetti che sono risultati negativi al test, ma con acuità visiva inferiore di 8/10 per il gold standard.

In tabella sono riportati i valori di sensibilità e di specificità calcolati per ogni immagine ibrida con i relativi tagli di frequenza e gap:

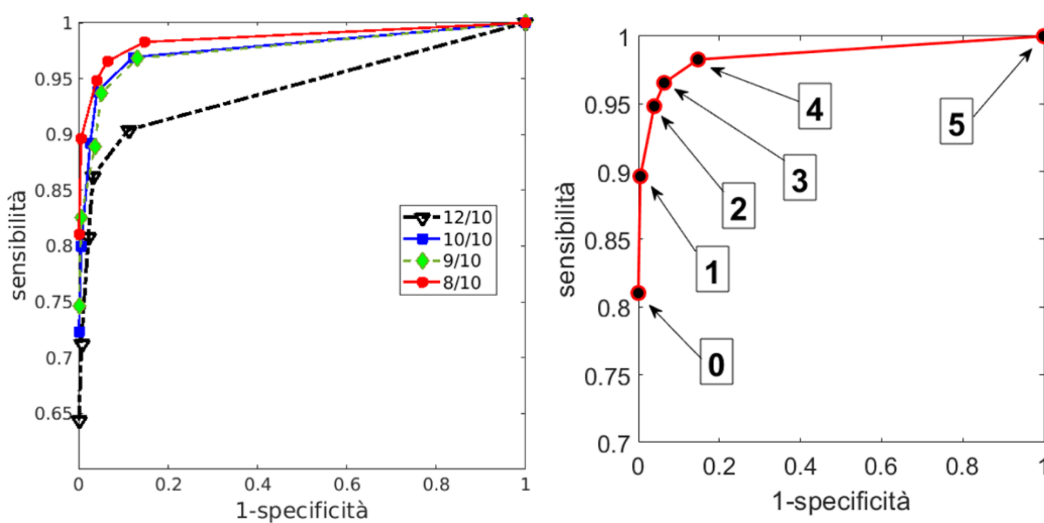
Immagine	Tipo	Sensibilità	Specificità	$f_h$ (cy/imm)	$f_l$ (cy/imm)	Gap (cy/imm)
1	<i>lupo-gatto</i>	0.93	0.94	14	6	8
2	<i>pecora-cane</i>	0.93	0.97	16	5	11
3	<i>pecora-cane</i>	0.86	0.96	15	7	8
4	<i>lupo-gatto</i>	0.93	0.95	8	5	3
5	<i>lupo-gatto</i>	0.95	0.94	9	6	3

Si può ritenere che il test abbia una buona attendibilità considerando una singola immagine visti i valori alti dei due parametri (prossimi al valore massimo di 1). Tuttavia, la disponibilità di più immagini funzionanti

suggerisce la possibilità di realizzare un nuovo tipo di test finale considerandole tutte insieme. Per misurare l'attendibilità del test che considera tutte le 5 migliori immagini, oltre al parametro di soglia arbitrario per l'acuità visiva (che discrimina tra ametropi e emmetropi), se ne aggiunge un altro costituito dal numero (da noi denominato come  $n_h$ ) di risposte che il soggetto ha interpretato l'immagine filtrata ad alte frequenze, per essere classificato come positivo al test (ametrope).

Quindi, per valutare le prestazioni del test finale e, in generale, per analizzare l'accuratezza di un modello statistico che classifica i soggetti in una delle due categorie (con o senza condizione), viene svolta l'analisi della curva ROC (*Receiver-Operating Characteristic*). Quest'ultima ci consente anche di individuare i parametri arbitrari che permettono di massimizzare l'efficacia del test per i nostri scopi di screening.

Nel grafico riportato a sinistra vengono mostrate 4 curve ROC, ciascuna considera un diverso valore di soglia di acuità visiva. A destra invece, si riporta nel dettaglio la curva ROC con soglia di 8/10 in cui ogni punto rappresenta il numero  $n_h$  che va da 0 a 5.



L'andamento della curva ROC dipende dal valore della soglia di acuità visiva considerata: come si vede in figura, la miglior curva (quella che si avvicina di più alla curva ideale, ovvero quella che va dal punto (0,0) a (0,1) e da (0,1) a (1,1)) è quella generata considerando una soglia di 8/10 (curva rossa), poiché è quella che meglio massimizza l'AUC (area sottesa dalla curva).

La somiglianza più marcata alla curva ROC ideale con una soglia di 8/10 e, la ragionevolezza nel discriminare la miopia a tale valore, mi hanno indotto a selezionare questo valore come soglia per l'acuità visiva. Si osserva anche che il valore di  $n_h$  pari a 3, è il punto sperimentale che meglio minimizza la distanza dal punto (0,1), per il quale si riscontra un migliore compromesso tra sensibilità e specificità. Inoltre, rispetto al punto calcolato per  $n_h=2$ , risulta quello in cui si presenta un alto valore di sensibilità, piuttosto che un alto valore di specificità.

Per i nostri scopi, infatti, risulta preferibile un test finale che minimizzi la probabilità di avere pochi falsi negativi rispetto alla possibilità di avere falsi positivi. Questo si traduce in un test adatto allo scopo prefissato, ovvero quello di avere una sensibilità molto alta (individuare tutti i casi ametropi) anche a scapito di introdurre falsi positivi (emmetropi che sono risultati positivi al test). In conclusione, usando tutte e 5 le immagini ibride, dal test si ottengono i migliori risultati ponendo 8/10 come soglia di acuità visiva e un valore  $n_h$  di risposte ad alta frequenza minore o pari a 3 per classificare un soggetto come positivo alla miopia.



## CONCLUSIONI

In questo studio, l'obiettivo principale è stato quello di ideare e realizzare un test che utilizzasse le immagini ibride per screening della miopia, rivolto in particolare ai soggetti con limitate capacità comunicative, come ad esempio i bambini molto piccoli.

Tali illusioni ottiche sono generate sovrapponendo due figure diverse, una filtrata rispettivamente con un filtro passa-basso e l'altra con un filtro passa-alto, in termini di frequenze spaziali.

Tramite l'utilizzo di un software scritto in ambiente Matlab dal gruppo di ricerca con il quale ho lavorato, ho creato diverse versioni di due immagini ibride originali selezionando diverse frequenze dei filtri. Tenendo presente che stiamo sviluppando un test che potrebbe essere somministrato a bambini molto piccoli, le figure originarie scelte per la creazione di immagini ibride sono state quelle raffiguranti degli animali di semplice riconoscimento.

Quindi, ho successivamente sottoposto un campione di 24 persone, con diversi gradi di acuità visiva indotti tramite aggiunta di opportune lenti, alla visione di 13 diverse immagini ibride. Per ogni soggetto ho quindi trovato i poteri delle lenti correttive in modo che questo presentasse determinati valori dell'acuità visiva. Questo ha portato alla selezione, attraverso l'analisi del fit dei risultati sperimentali con la curva psicometrica, di 5 immagini ibride che presentassero caratteristiche ottimali per essere utilizzate nel test finale. Tali caratteristiche ottimali sono state ricavate attraverso l'analisi dei valori di soglia e pendenza delle curve psicometriche per ogni immagine.

La fase successiva del mio lavoro è stata quindi quella di usare le immagini ibride selezionate che, presentate con una certa dimensione e a una distanza fissata, riuscissero a discriminare una acuità visiva del soggetto inferiore (soggetto positivo) o superiore (soggetto negativo) ad un determinato valore di soglia. In questo modo, a seconda dell'interpretazione del soggetto, possiamo stimare la presenza di un'eventuale miopia. Per questo test ho utilizzato un campione di 81 soggetti che hanno partecipato in visione monoculare sia con l'occhio destro che con l'occhio sinistro. I partecipanti dotati di una correzione abituale sono stati sottoposti nuovamente al test anche senza di essa, allo scopo di valutare anche i casi di bassa acuità visiva.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come le 5 migliori immagini ibride, utilizzate come test di screening, mostrino elevati valori di sensibilità e specificità, in particolare considerando un valore soglia di 8/10 e un valore  $n_h$  di risposte ad alta frequenza minore o pari a 3. Possiamo quindi affermare che il test è in grado di discriminare ragionevolmente soggetti con un'AV superiore o inferiore alla soglia considerata. Tale valore di acuità visiva, oltre che fornire i migliori risultati nell'analisi con la curva ROC, è stato giudicato anche un buon valore per la discriminazione di soggetti ametropi.

Per quanto riguarda la ricerca di base, una prospettiva futura può essere quella di ampliare lo studio coinvolgendo un numero sempre maggiore di partecipanti di tutte le fasce d'età, esaminando, ad esempio, come l'influenza della sensibilità al contrasto e della percezione cromatica possa giocare un ruolo nell'interpretazione dell'immagine ibrida.

Dal punto di vista pratico, si ritiene che i risultati di questo lavoro possano aprire la strada ad un test di screening per la miopia, facendo leva sui fattori di forza di questo metodo, cioè la semplicità d'uso, l'aspetto di intrattenimento e la possibile somministrazione a soggetti con limitate capacità comunicative.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] P. Sripian, "Toward using hybrid image as a visual acuity assessment tool," in 2016 Nicograph International (Nicolnt), pp. 171–177, 2016.
- [2] F. Tommasi, A. Giorgetti, A. Farini, S. Cavalieri, M. Gurioli, and P. A. Grasso, "Optimizing hybrid images for an easy screening of the visual acuity," *Nuovo Cimento*, p. in pubblicazione.
- [3] A. Oliva, A. Torralba, and P. G. Schyns, "Hybrid images," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 25, no. 3, pp. 527–532, 2006.
- [4] P. SRIPIAN and Y. YAMAGUCHI, "Hybrid image from different contents," *IPSJ SIG Tech Rep*, vol. 138, pp. J1–J6, 2010.