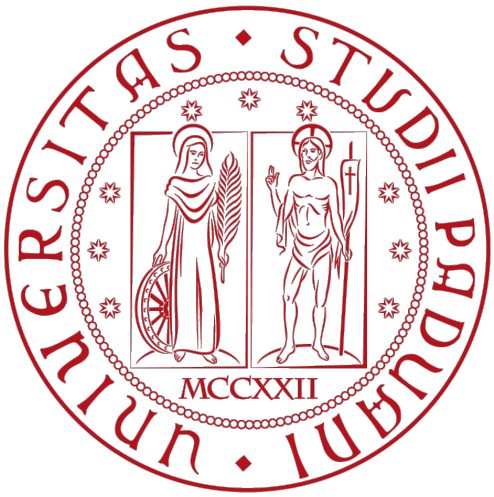


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA
CORSO DI LAUREA IN OTTICA E OPTOMETRIA

TESI DI LAUREA

LA VISIONE NEI RINNOVI E NEL RILASCIO DELLE PATENTI

Relatrice: **Prof.ssa Dominga Ortolan**

Laureanda: **Alessandra Marin**

ANNO ACCADEMICO 2013 / 2014

INDICE

Introduzione pag. 1

Capitolo 1: Le norme in Italia pag. 4

1.1 Patente di guida

1.2 Patente nautica

1.3 Patente aeronautica

1.4 Licenza porto d'armi

Capitolo 2: L'acuità visiva pag. 8

2.1 Cos'è l'acuità visiva

2.2 Acuità visiva nella conduzione di un mezzo

2.3 Requisiti d'acuità visiva richiesti per il rilascio delle varie licenze

Capitolo 3: Campo visivo pag.14

3.1 Generalità

3.2 Metodi di valutazione del campo visivo

3.3 Requisiti del campo visivo per il rilascio delle varie licenze

3.4 Studi di ricerca

Capitolo 4: Sensibilità al contrasto pag.22

4.1 Generalità

4.2 Metodi di misurazione

4.3 Requisiti di sensibilità al contrasto nel rilascio delle varie licenze

4.4 Sensibilità al contrasto nella conduzione di un mezzo

Capitolo 5: Altri test visivi pag.28

5.1 Visione crepuscolare

5.2 Sensibilità all'abbagliamento

5.3 Tempo di recupero dall'abbagliamento

5.4 Visione dei colori

5.5 Studi di ricerca

Capitolo 6: La visione binoculare pag.37

6.1 Generalità

6.2 I tre gradi della percezione binoculare

6.3 Visione binoculare e guida

6.4 Visione binoculare nel rilascio delle patenti nautiche e aeronautiche

Conclusioni pag.44

Bibliografia pag.46

Sitografia pag.53

Introduzione

Milioni di persone ogni giorno, utilizzano macchine, navi, aerei ecc per raggiungere il posto di lavoro, gli ambiti del tempo libero e dei servizi. Questi mezzi di trasporto sono, quindi, fondamentali anche per la nostra economia ed è molto importante bilanciare la mobilità con il rischio, in modo che tutti possano raggiungere i luoghi della loro vita quotidiana in assoluta sicurezza. Nella società tutti hanno il loro ruolo nel garantire la sicurezza durante il viaggio, a partire dalle istituzioni, nel regolamentare le leggi relative al rilascio delle varie patenti, le case produttrici nel fornire mezzi sicuri, le figure abilitate, i medici monocratici, nel rilasciare patenti ecc[1-2]. La guida è la modalità preferita dai viaggiatori, per spostarsi. L'interruzione di guida volontaria o involontaria (dovuta per esempio alla revoca della patente) è stata associata ad una diminuzione delle salute e della qualità di vita (DeCarlo, Scilley, Wells, & Owsley, 2003), un aumento della probabilità di depressione e isolamento sociale, una riduzione delle possibilità di raggiungimento dei servizi sanitari (Owsley et al., 2006, 2008) e un aumento di preoccupazioni. Inoltre la cessazione dell'attività di guida crea, inevitabilmente, l'esigenza di scegliere un alternativo sistema di trasporto, potenzialmente più costoso (es. trasporti pubblici, taxi) (Rosenbloom, 1993; Transportation Research, Board, 1988) e non sempre disponibile in tutte le zone geografiche, soprattutto in quelle rurali[3].

Molti studi riportano che la guida è il risultato di fattori diversi quali l'ambiente, il veicolo e l'uomo e che l'equilibrio tra tali elementi sia necessario per il mantenimento della sicurezza. Gli aspetti dell'uomo che potrebbero comprometterne la sicurezza sono per esempio, il suo comportamento, lo stato psicofisico, l'assunzione di farmaci, alcool e droghe, malattie e deficit visivi, situazioni di stress o affaticamento e l'uso di alcuni distrattori, quali i cellulari. Per quanto riguarda il veicolo, le variabili coincidono con la sicurezza del mezzo, la circolazione su strada e i pericoli associati al trasporto di prodotti pericolosi[4].

Considerando le variabili ambientali è noto che durante la guida i nostri occhi sono esposti a condizioni di luce che cambiano non solo in base al momento della giornata (alba, giorno, crepuscolo e notte) o alle condizioni climatiche, ma anche in base alle infrastrutture stradali come le gallerie, che determinano un passaggio repentino dalla luce al buio.

Questi cambiamenti improvvisi d'illuminazione richiedono ai nostri occhi un adattamento che avviene in un tempo dipendente dalla capacità individuale di rispondere all'abbagliamento o al buio[5].

In conclusione, dunque, i fattori coinvolti nella conduzione di un mezzo, sia esso macchina, nave o aereo, sono:

- luce ambientale,
- elementi distintivi dell'oggetto osservato,
- trasparenza dei mezzi diottrici oculari e dei mezzi posti tra occhio e target,
- capacità risolutiva del sistema ottico,
- corretto funzionamento delle cellule sensoriali,
- adeguata capacità di elaborare le informazioni[4].

Altre variabili considerate determinanti nell'attività di guida possono essere l'età e il numero di km percorsi. L'età può incidere negativamente considerando i deficit visivi o le patologie che accompagnano l'anzianità ma, può anche essere giudicato positivamente considerando che il numero di km percorsi incide sulla guida rendendo il conducente più sicuro per l'"effetto apprendimento". In questo senso una categoria a rischio è quella dei neopatentati caratterizzati da comportamenti che si riflettono anche sulle condotte di guida come ad esempio:

- eccessivo bisogno di autonomia,
- scarsa tolleranza verso i comportamenti altrui,
- senso di costrizione verso le norme sociali in generale e verso le regole del codice stradale in particolare, che si traduce frequentemente in una volontaria infrazione di tali regole.

Negli studi dell'istituto di psicologia della facoltà di medicina dell'università di Milano è stata rilevata una distinzione tra i neopatentati maschi, che mostrano poca consapevolezza delle proprie capacità e dei rischi cui sottopongono se stessi e gli altri, e le giovani ragazze che, invece, sembrano più responsabili e consapevoli dei vari aspetti inerenti il processo di guida[6].

La conduzione di un mezzo richiede abilità percettivo-visive, uditive, coordinamento percettivo-motorio e pianificazione spazio-tempo. Le prestazioni sono quindi, il risultato di capacità fisiche (visive, uditive e motorie) e cognitive (percezione, valutazione, decisione, precisione).

È un comportamento motorio che comporta, di conseguenza, un processo decisionale per niente semplice, che richiede di:

- percepire,
- selezionare le informazioni,
- elaborare le informazioni,
- produrre un'attività decisionale,
- compiere la scelta ritenuta più idonea tenendo in considerazione anche le precedenti esperienze e il contesto sociale nel quale si trova[6].

La visione è un processo attivo e dinamico in cui gli occhi hanno il compito di raccogliere le informazioni visive ed inviarle al cervello che è in grado di selezionare quelle più importanti e trascurare quelle che non lo sono altrettanto[7].

Nell'elaborato verranno valutati i requisiti necessari al rilascio, rinnovo delle patente di guida, nautica, aeronautica, licenze al porto d'armi e alle limitazioni ad esse correlate nel tentativo di comprendere il ruolo e l'importanza della visione.

1. Le norme in Italia

1.1 La patente di guida

La vista rappresenta la sensorialità privilegiata perché coinvolge la maggior parte delle informazioni riguardanti l'ambiente circostante ed è quindi indispensabile per tutte le attività quotidiane, soprattutto nella guida. Per ottenere la patente di guida, per quanto riguarda la legislazione italiana, è necessario che il soggetto possegga i requisiti fisici e psichici idonei, espressi dall'articolo 119 C.d.S[8]. Secondo Hills il 90% delle informazioni necessarie per condurre un autoveicolo sono di tipo visivo[9]. La sicurezza sulla strada, quindi, non dipende solo dall'idoneità psicologica, dalle abitudini di comportamento e dalla reattività del conducente, ma è principalmente legata anche alla funzione visiva[10]. Con i cambiamenti apportati con il D.Lgs. n. 59 del 18 aprile 2011, anche i medici in quiescenza potranno procedere alle visite. Inoltre chi richiede la patente deve ora integrare la domanda con certificazioni mediche che attestino l'estraneità del soggetto ad alcol, droghe o sostanze psicotrope, soprattutto chi esercita l'attività professionale di trasporto su strada, che richiede la patente di guida di categoria C, CE, D e DE. Tale certificazione determina una maggiore sicurezza nelle strade, sia per quanto riguarda i trasporti privati, sia per quelli pubblici, ma costituisce anche una tutela per coloro che guidano veicolo commerciali[11].

Per la legislazione italiana le competenze visive richieste per il rilascio o il rinnovo della patente di guida sono espresse dall'articolo 322: "Il candidato al conseguimento della patente di guida (ovvero chi deve rinnovarla o ha l'obbligo di revisione ai sensi dell'art. 128 del codice della strada) deve sottoporsi a esami appropriati per accertare la compatibilità delle sue condizioni visive con la guida di veicoli a motore. Dovranno essere valutati con particolare attenzione: acutezza visiva, campo visivo, visione crepuscolare, sensibilità all'abbagliamento e al contrasto, diplopia e altre funzioni visive che possono compromettere la guida sicura. Se c'è motivo di dubitare che la sua vista non sia adeguata, il candidato deve essere esaminato dalla Commissione Medica Locale"[12].

La proposta di sequenza di screening[13] visivo, elaborata da Nicola Pescosolido, Alessandro Farini, Giuseppe Migliori, per rilascio o rinnovo della Patente di Guida si avvale di esaminare il soggetto attraverso tali test:

- acutezza visiva,
- sensibilità al contrasto,
- visione crepuscolare,
- sensibilità all'abbagliamento,
- tempo di recupero all'abbagliamento,
- diplopia[7].

1.2 La patente nautica

Le patenti nautiche si dividono in tre categorie:

- patenti di categoria A: abilitano al comando e alla conduzione dei natanti e delle imbarcazioni da diporto sia per la navigazione entro le 12 miglia dalla costa, sia per quella illimitata. Tale patente abilita alla condotta di navi a motore, a vela e di quelle a propulsione mista.

- patenti di categoria B: abilitano al comando o alla conduzione delle navi da diporto, di lunghezza pari o inferiore a 24 metri, di navi a vela e a propulsione mista.

- patenti di categoria C: abilitano alla direzione nautica di navi da diporto di lunghezza pari o inferiore a 24 metri, a patto che sia presente una persona maggiorenne in grado di condurre il mezzo e salvaguardare la vita delle persone a bordo[14].

Come enunciato dall'articolo 28 gli enti autorizzati al rilascio di licenze nautiche sono:

" a) le capitanerie di porto, gli uffici circondariali marittimi e gli uffici della motorizzazione civile delle Direzioni generali territoriali del Dipartimento per i trasporti terrestri e il trasporto intermodale, per le patenti nautiche, che abilitano alla navigazione entro dodici miglia dalla costa;

b) le capitanerie di porto e gli uffici circondariali marittimi, per le patenti nautiche che abilitano alla navigazione senza alcun limite dalla costa;

c) le capitanerie di porto, per le patenti che abilitano al comando di navi da diporto".

La patente nautica ha validità dieci anni dal rilascio e cinque per coloro che nel momento di convalida hanno superato i sessant'anni d'età. La durata della validità delle patenti di categoria C rimane conforme al certificato della commissione medica[15].

1.3 La patenta aeronautica

Esistono tre diverse licenze di volo:

- per pilota privato (PPL),
- per pilota commerciale (CPL),
- per pilota di linea (ATPL).

Tali licenze vengono concesse dopo aver sostenuto un corso di addestramento teorico-pratico svolto presso Type Rating Training Organization - TRTO (organizzazione di addestramento) e Flight Training Organization - FTO (Centri di addestramento al volo) approvati dalle Autorità Aeronautiche nazionali. Per poter ottenere la licenza di volo è necessaria l'idoneità psico-fisica certificata dall'Istituto Medico Legale dell'Aeronautica Militare o da un ambulatorio della Sanità Marittima del Ministero della Salute. Dopo aver seguito il corso teorico e pratico presso una scuola di volo certificata o approvata da Enac, la licenza si ottiene solo a seguito di un esame teorico-pratico svolto presso lo stesso ente. Le Licenze rilasciate dall'Enac sono licenze JAR, vale a dire che rispondono ai requisiti stabiliti e riconosciuti in tutti i Paesi aderenti all'EASA (European Aviation Safety Agency)[16].

1.4 Licenza porto d'armi

Per ottenere tale licenza è necessario compilare una domanda di rilascio licenza. La domanda dovrà essere accompagnata da alcune fotografie, un certificato medico e, in mancanza di un congedo dal servizio militare, un certificato di abilitazione all'uso e maneggio delle armi rilasciato da una sezione del Tiro a Segno Nazionale[17].

LICENZA PORTO D'ARMI PER USO PERSONALE

La licenza per il porto d'armi (nullaosta) è rilasciata, dal Prefetto o dal Questore della provincia in cui il richiedente, ha la sua residenza o il domicilio. Per ottenere tale licenza è necessario essere maggiorenni ed avere una ragione valida e motivata che giustifichi il bisogno di possedere un'arma. L'autorizzazione, rilasciata dal Prefetto, permette il porto dell'arma fuori dalla propria abitazione ed ha validità annuale (nei 5 anni di validità del libretto)[18].

LICENZA PORTO D'ARMI PER TIRO AL VOLO

Questo tipo di licenza, rilasciata dal Questore, è comunemente detta per uso sportivo e permette di esercitare il tiro a volo e il tiro a segno. In particolare, per il tiro a segno è necessario iscriversi presso una Sezione di Tiro a Segno Nazionale o presso un'associazione di tiro iscritta ad una federazione sportiva affiliata al CONI (Comitato Olimpico Nazionale Italiano). La licenza ha una validità di 6 anni[18].

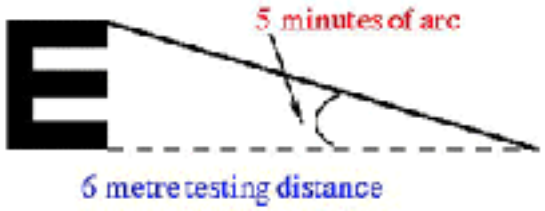
LICENZA PORTO D'ARMI DA CACCIA

La licenza si rinnova ogni sei anni e il modulo di richiesta è disponibile anche presso la Questura, il Commissariato di Pubblica Sicurezza o la stazione dei Carabinieri. Per la domanda di rinnovo, va prodotta la stessa documentazione prevista per il rilascio, ad eccezione della certificazione attestante l'abilitazione all'esercizio dell'attività venatoria, la certificazione d'idoneità alla gestione delle armi e la dichiarazione di non essere stato dichiarato "obiettore di coscienza", oppure l'istanza di revoca dello status di obiettore[18].

2. Acuità visiva

2.1 Cos'è l'acuità visiva

La capacità di risolvere i dettagli, o acuità visiva (A.V.), è l'onnipresente test di screening visivo utilizzato per la determinazione dell'idoneità al rilascio delle varie licenze[19]. Una buona A.V. permette di distinguere i cartelli stradali durante la guida, di evitare eventuali ostacoli in mare lungo la rotta, di individuare le luci di atterraggio per un pilota e di rilevare con precisione la posizione del bersaglio, per un cacciatore o uno sportivo di tiro a segno. Il valore del test d'acuità, rappresentativo tra i test optometrici, assume spesso connotati molto diversi: a volte viene descritto ed eseguito in modo sbrigativo, acritico, riferendosi implicitamente ad una sua presunta semplicità; altre volte viene, invece, eccessivamente enfatizzato, come se il raggiungimento dei "dieci decimi" potesse certificare la salute e l'efficienza della visione. In seguito vedremo che tale test non può essere considerato un indicatore della salute e dell'efficienza del sistema visivo[3]. Gli ottotipi che vengono più comunemente utilizzati sono linee di simboli alfabetici di Snellen, lettere che sono più grandi nella parte superiore e più piccole verso il basso, con una progressione nota come LogMAR (logaritmo del minimo angolo di risoluzione), in cui la grandezza dei simboli decresce per ogni riga di 0,1 unità logaritmiche, cioè i simboli di ogni riga sono sempre 1,259 volte più grandi di quelli successivi. I dettagli critici di queste lettere (lo spessore del tratto e la larghezza gap) sottendono sempre 1/5 dell'altezza complessiva della lettera (Figura 1). Secondo Schieber (Schieber, 2006) l'A.V. è in genere rappresentata con il minimo angolo di risoluzione (MAR) definito in minuti di arco, con una media d'A.V. delle persone sottesa ad 1 minuto d'arco e l'equivalente di ciò corrisponde a 10/10. Riconoscere i 10/10 significa semplicemente che è possibile distinguere lettere la cui separazione tra le linee è di 1 minuto di arco, a sei metri di distanza[20].



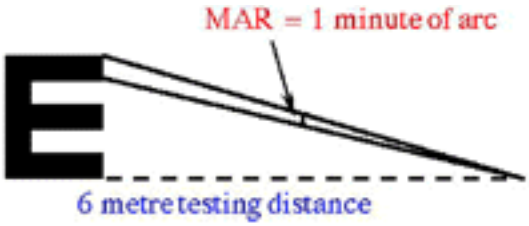


figura 1: La larghezza e la distanza tra i tratti che formano le lettere di Snellen per uno spettatore con A.V 10/10, disponibile al sito: (http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html)

2.2 Acuità visiva nella conduzione di un mezzo

Alcune ricerche (Burg, 1967, Burg,1968 e Hills and Burg, 1977) hanno cercato di trovare un'associazione tra A.V. e sicurezza del conducente dimostrando che per i conducenti giovani e di mezza età della California, non vi era alcuna relazione tra A.V. ridotta e collisioni tra veicoli a motore. Ampliando la ricerca su soggetti più anziani, si era trovata una, seppur debole, ma significativa, associazione tra diminuzione d'acuità e il coinvolgimento in incidenti[3]. Pitts (1982), nei suoi studi, ha riferito che dopo i 60 anni, l'A.V. corretta comincia a ridursi drasticamente. Schieber con ricerche più recenti e campioni significativi ha confermato tale ipotesi collegando i risultati di tre diversi studi (Haegerstom-Portnoy, et al, 1999;. Bergman & Sjostrand, 2002; Weymouth, 1960) e ha trovato che, nelle persone anziane corrette, l'A.V. in genere è intorno al valore di 20/24 (8/10) all'età di 70 anni per poi diminuire con l'età e raggiungere il valore di 20/71 (2,8/10) a 95 anni[20].

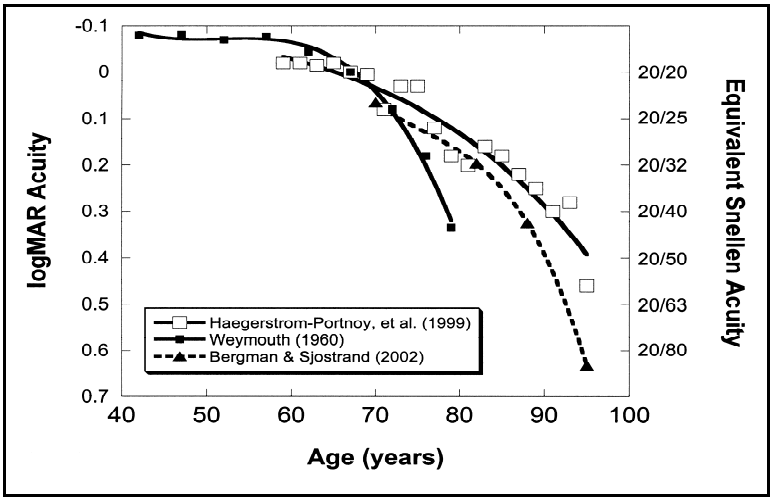


Figura 2: Relazione acuità visiva ed età. Risultati di tre studi differenti.
Tratto da: Schieber 2006.

Nella somministrazione del test d'A.V. è importante tenere conto delle condizioni di luminosità nelle quali è proposto il test. L'A.V. diminuisce con l'oscurità per cui, una persona che durante il giorno rientra appena nei limiti indicati dalla legge, durante le ore notturne non rispetterà più i requisiti richiesti. In sede d'esame l'illuminazione dell'ambiente deve essere tale da creare un illuminamento dell'ottotipo intorno ai valori di 300 lux, con una tolleranza tra 270 e 1100 lux e un contrasto tra lettere e sfondo, secondo Weber, non inferiore all'85%. Heagerstrom - Portnoy e colleghi nel 1999 hanno condotto uno studio sull'A.V. di diversi gruppi di età, in condizioni di luminanza (bassa = 15 cd/m^2 vs high = 150 cd/m^2) e contrasto (basso = 16 % vs alto = 90 %) variabili. Dai risultati di tali studi è possibile osservare che con l'aumentare dell'età, l'A.V. diminuisce (1.6/10), in condizioni di basso contrasto e bassa luminanza, per un gruppo di fascia d'età media di 80 anni. Considerando la stessa fascia d'età e aumentando la luminanza si è visto un miglioramento dell'A.V. (4/10). La diversità dei risultati tra le due condizioni di luminanza ci suggerisce che gli attuali test di A.V. potrebbero non informarci completamente sulle reali capacità di discriminazione del conducente nel mondo concreto, dato che, tali test, vengono eseguiti in condizioni di alta luminosità e alto contrasto[20]. Con uno studio condotto dalla "School of Optometry, University of California" si è voluto esaminare quanto la l'A.V. di un individuo potesse prevedere altre abilità del sistema visivo. Da tale studio è emerso che misure di visione spaziale (sensibilità al contrasto, alta sensibilità all'abbagliamento, A.V. a basso contrasto ecc) pur avendo un elevato grado di correlazione con A.V. non possono essere anticipate dalla misurazione della sola A.V., la quale può solo fornire informazioni aggiuntive[82].

Higgins, Wood, e Tait (1998) nelle loro indagini hanno indotto una riduzione di A.V., tramite annebbiamento, per valutarne le conseguenze durante la guida. Le conclusioni cui sono pervenuti sono che, nonostante l'annebbiamento indotto, i soggetti riuscivano, comunque, a mantenere il controllo del veicolo, anche se riscontravano una difficoltà del riconoscimento della segnaletica stradale[3]. C.Owsley e G. McGwin Jr. pongono una conclusione importante a tale proposito: "l'A.V. correlata a decrementi di prestazioni non si traduce in minore sicurezza di guida. La lettura segnaletica può essere importante per la pianificazione del percorso o il mantenimento delle normative della strada, ma non può essere critico per evitare le collisioni.

Il test d'A.V. non misura le abilità visive necessarie per il sicuro controllo di un veicolo a motore e da solo non riflette la complessità del compito della vista nella guida"[3]. Non va dimenticato, però, che il fatto di essere in grado di percepire un ostacolo o un cartello molto prima, ci permette di agire per tempo senza compiere, quindi, manovre brusche[5]. È importante considerare che esaminare la relazione tra A.V. e il coinvolgimento in un incidente non è così semplice. Questo è dovuto al fatto che persone con grave compromissione visiva spesso cessano o riducono il tempo alla guida di spontanea volontà e, quindi, hanno meno probabilità di appartenere al campione della ricerca[19]. E' altrettanto importante sottolineare che c'è un crescente consenso, tra quelli in servizio tra le commissioni consultive americane di medici e ricercatori, che l'A.V. di circa 2-3/10 probabilmente non sia una minaccia per la guida sicura, soprattutto se queste persone sono in grado di dimostrare una prestazione su strada che sia sicura[21].

2.3. Requisiti d'acuità visiva richiesti per il rilascio delle varie licenze

TABELLA I: tabella riassuntiva dei requisiti d'acuità visiva richiesti per le patenti

CATEGORIA	REQUISITI D'ACUITA' VISIVA
veicoli delle categorie AM, A, A1, A2, B1, B, e BE[22]	- A.V. BINO (anche con correzione) di almeno 7/10, - A.V. MONO dell'occhio che vede peggio non sia inferiore a 2/10, - per candidato monocolo A.V. non meno di 8/10, raggiungibile anche con lente correttiva se ben tollerata.
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E[22]	- A.V. BINO (anche con correzione) di almeno 8/10, - A.V. MONO dell'occhio che vede peggio non sia inferiore a 4/10
PATENTE NAUTICA[23]	- A.V. BINO (anche con correzione) di almeno 10/10, - A.V. MONO non inferiore dei 3/10 nell'occhio che vede meglio - Nel caso di ametropia la differenza di rifrazione tra le due lenti non può superare le tre diottrie, sia che essa sia positiva che negativa, - la prescrizione astigmatica non può superare le due diottrie, - I soggetti monocoli A.V. di almeno 5/10 e un visus corretto non inferiore a 8/10, raggiungibile con correzione di lenti di qualsiasi valore oftalmico o con lenti a contatto.
LICENZA PER PORTO D'ARMI per uso di caccia e per l'esercizio dello sport del tiro al volo[24]	- A.V. MONO non inferiore a 8/10 per l'occhio che vede meglio, - Per i soggetti monocoli A.V. deve essere di almeno 8/10.

ALLIEVI ACCADEMIA MILITARE[25]	- A.V. corretto non inferiore a 16/10 complessivi, - A.V. MONO non inferiore a 7/10 nell'occhio che vede di meno raggiungibile con correzione non superiore alle tre diottrie anche in un solo occhio.
PER L'ARMA DEI CARABINIERI[25]	- A.V. BINO uguale o superiore a 16/10, - A.V. MONO non inferiore a 7/10 nell'occhio che vede peggio, raggiungibile con correzione non superiore alle 4 diottrie per la sola miopia e non superiore a 3 diottrie, per gli altri vizi di refrazione.
CLASSE 1 PILOTI COMMERCIALI[26]	- A.V. LONTANO MONO richiesta è 6/9 (0,7) o più in ciascun occhio separatamente con o senza correzione, - A.V. BINO di 6/6 (1,0) o più, - A.V. VICINO i candidati devono essere in grado di leggere un grafico N5 (o equivalente) a 30-50cms e un grafico N14 (o equivalente) a 100 cm , con correzione se prescritto, - I soggetti affetti da stigmatismo e anisometropia possono essere giudicati idonei a seguito di un esame oftalmico soddisfacente.
REQUISITI CLASSE 2 PILOTI PRIVATI[26]	- A.V. MONO richiesta è 6/12 (0,5) o più in ciascun occhio separatamente, - A.V. BINO di 6/9 (0,7) o più, - A.V. VICINO i richiedenti devono essere in grado di leggere una tavola N 5 (o equivalente) a 30-50 cm e una tavola N 14 (o equivalente) a 100 cm, con correzione se prescritta, - i soggetti affetti da: astigmatismo o anisometropia possono essere giudicati idonei a seguito di un esame oftalmico soddisfacente
REQUISITI PER PILOTI DI AEROMOBILI LEGGERI LAPL[26]	- A.V. BINO, con o senza lenti correttive dovrebbe essere 6/9 (0,7), - A.V. MONO 6/12 (0,5), - A.V. VICINO i candidati devono essere in grado di leggere un grafico N5 (o equivalente) a 30-50cms e un grafico N14 (o equivalente) a 100 cm, con correzione se prescritto.

L'European Aviation Safety Agency suggerisce i metodi accettabili di conformità e il materiale del regolamento (UE) n 1178/2011 del 3 novembre 2011, che stabilisce i requisiti tecnici e le procedure amministrative relativamente agli equipaggi dell'aviazione civile.

TABELLA II: tabella riassuntiva requisiti d'acuità visiva

CATEGORIA	REQUISITI D'ACUITA' VISIVA RICHIESTI
CLASSE 1 PILOTI COMMERCIALI[27]	Gli errori di rifrazione consentiti comprendono: - l'ipermetropia non superiore a 5,0 diottrie; - miopia non superiore a 6,0 diottrie; - l'astigmatismo non superiore a 2,0 diottrie; - anisometropia non superiore a 2,0 diottrie, ma se si ha una anisometropia di 3 diottrie si passa alle LaC, in ogni caso la correzione deve essere ottimale e tollerata.
CLASSE 2 PILOTI PRIVATI[27]	- se il richiedente risulta ambliope, l'A.V. dell'occhio ambliopico dovrebbe essere 6/18 (0,3) o superiore. Il richiedente può essere valutato come idoneo, purché l'A.V. nell'altro occhio sia 6/6 (1,0) o meno, con o senza correzione, e nessuna patologia significativa sia riscontrata; - Per soggetti con anisometropia per l'occhio che vede meglio è richiesto il raggiungimento di 6/6 (1,0), corretta o meno, nell'acuità da lontano, e il raggiungimento dell'A.V. di N14 e N5 per vicino.
PILOTI DI AEROMOBILI LEGGERI LAPL[27]	- A.V. BINO con o senza lenti correttive dovrebbe essere 6/9 (0,7) binoculare e 6/12 (0,5) in ciascun occhio; - A.V. da vicino i candidati devono essere in grado di leggere un grafico N5 (o equivalente) a 30-50cms e un grafico N14 (o equivalente) a 100 cm, con correzione se prescritto; - I candidati con una visione inferiore in un occhio possono essere giudicati idonei se l'occhio più potente raggiunge un'A.V. inferiore a 6/6 (1,0), ma non inferiore a 6/9 (0,7), dopo la valutazione oftalmologica.

1

[1] N5-N14 notazione storica *Points*. Un punto corrisponde a 1/72 di pollice (2,54 cm). N14 corrisponde ai 2/10 mentre N5 corrisponde a 5,5/10.

3. Campo visivo

3.1 Generalità

Il Campo Visivo consiste in quella porzione di spazio che un occhio fermo percepisce di fronte a sé. Un campo visivo integro permette di individuare un pericolo laterale senza distogliere lo sguardo dal punto di fissazione, permette di percepire gli spazi e le distante. Proprio per queste ragioni il campo visivo è importantissimo durante il movimento e soprattutto nella conduzione di un mezzo. Persone con visione compromessa, con un'A.V. molto bassa risultano incapaci di riconoscere persone, o di leggere anche scritte e cartelli di grandi dimensioni, pur riuscendo perfettamente a muoversi in modo autonomo, anche in ambienti che non conoscono bene, perché hanno la perfetta percezione degli spazi e degli ostacoli che li circondano dal momento che il campo visivo periferico è integro. Un campo visivo nella norma si estende dagli 85° ai 100° temporalmente, 60° nasalmente, superiormente intorno ai 60° e circa 70° inferiormente, assumendo così una sorta di forma ovoidale[28]. In orizzontale abbraccia circa un totale di 208°, una zona è binoculare, posta centralmente, e l'altra comprende due falci monoculari poste temporalmente, con estensione di 25°-40°. A 10°-20°, temporalmente rispetto ai punti di fissazione è localizzabile la cosiddetta "Macchia Cieca", che individua il punto di origine del nervo ottico (papilla ottica) privo di fotorecettori per la presenza delle guaine mieliniche, che ricoprono il nervo. In alcune patologie tale scotoma può risultare più ampio rispetto alle sue normali dimensioni (glaucoma, neurite, papillite)[29]. Molto importante può essere scoprire un'anomalia del campo visivo, in quanto essa è spessa correlata a patologie oculari o delle vie ottiche. Hans Goldmann contribuì alla diffusione dello studio del campo visivo, creando, nel 1945, un perimetro a cupola, di forma emisferica, dotato di uno sfondo ad illuminazione costante, sul quale venivano proiettati degli stimoli luminosi d'intensità maggiore rispetto a quelli dello sfondo. Grazie agli studi di Goldmann e, quindi, al contributo fornito nello studio del campo visivo, il perimetro manuale viene definito "perimetro di Goldmann"[30].

3.2 Metodi di valutazione del campo visivo

La valutazione di una porzione del campo visivo viene definita campimetria, mentre la valutazione delle estremità periferiche del campo è detta perimetria. La campimetria è maggiormente usata, dal momento che l'80% dei difetti del campo visivo si evidenziano con l'analisi della porzione centrale[28]. Nell'esame del campo visivo ogni occhio dev'essere esaminato separatamente, altrimenti il campo visivo di un occhio sopperisce agli eventuali scotomi dell'altro. Per la valutazione del campo visivo nella pratica optometrica, possono essere usati strumenti per screening e dépistage, in modo veloce ed essenziale, il campimetro manuale di Damato, per la valutazione del campo centrale e l'Hand Disc Perimeter per la valutazione dell'estensione del campo visivo. I test si eseguono in condizione fotopica per valutare la capacità di rilevare una mira luminosa da uno sfondo ben illuminato.

- CAMPIMETRO MANUALE: tale strumento permette la valutazione dei 30° centrali del campo visivo ed è simile ad un disco orario con cerchi concentrici su entrambi i lati, uno per ciascun occhio. Ogni lato mostra uno stimolo centrale circondato da una serie di numeri e mire di fissazione. Il paziente guarda una mira di fissazione in modo da poter valutare 30 aree rilevanti del campo visivo. Mentre il paziente mantiene la fissazione sulla mira progressivamente indicata, l'esaminatore seleziona lo stimolo girando il disco, in modo che lo stimolo nero su sfondo bianco appaia brevemente nella finestra centrale del test. Un occlusore su un braccio attaccato al test permette l'occlusione di un occhio e mantiene la corretta distanza del paziente dal test. Lo stimolo è un pallino nero su fondo bianco, disponibile in due diametri (1,5 o 3 mm); l'assenza di stimolo è la tecnica usata come controllo. Gli stimoli non riconosciuti vengono segnati su una carta ridotta che rappresenta fedelmente la griglia del test[31].

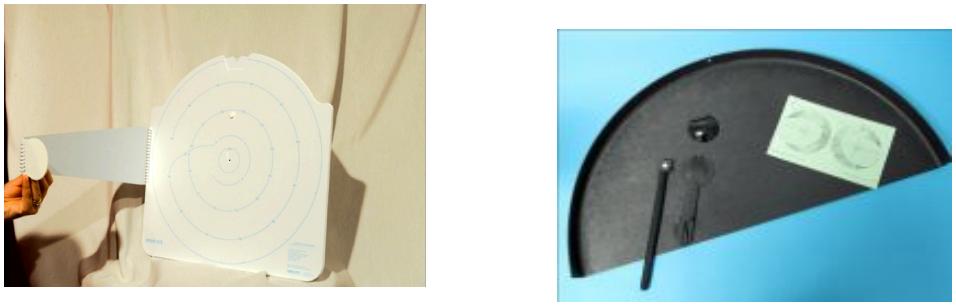


Figura 3: CAMPIMETRO MANUALE, tratto da: I nuovi test visivi per la patente di guida, manuale operativo per l'ottico optometrista, a cura di D. Ortolan , S.Santacatterina, R. Velati.

- HAND DISC PERIMETER è costituito da mire di fissazione nel centro di curvatura e punti di stimolazione posti lungo la superficie. Il test viene eseguito, di norma, lungo i meridiani principali a 180°, 90°, 45° e 135°, ma può essere eseguito lungo qualunque meridiano. Si chiede al soggetto di mantenere la fissazione della mira posta nel centro di curvatura e di avvisare quando lo stimolo luminoso è percepito, partendo dal non visto al visto.

Quando si valuta il campo visivo è sempre importante tenere a mente che qualsiasi anomalia viene localizzata in posizione diametralmente opposta alla reale posizione in cui si trova lo scotoma[28]. La figura di seguito illustra i principali difetti del campo visivo e le lesioni corrispondenti.

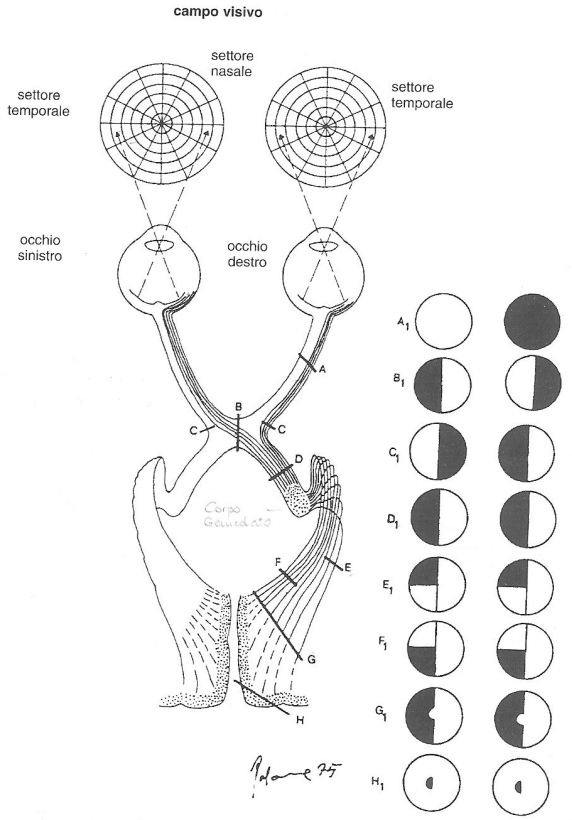


Figura 4: Principali difetti del campo visivo e le lesioni corrispondenti. Tratto da: Anatomia e patologia del nervo ottico, Dr. Umberto Benelli, U.O. Oculistica Universitaria.

3.3 Requisiti per il campo visivo per il rilascio delle varie licenze

Per quanto riguarda la legislazione italiana, di seguito vengono riportati i requisiti richiesti, per il campo visivo, per il rilascio delle varie licenze.

TABELLA III: requisiti richiesti per il campo visivo

CATEGORIA	REQUISITI DI CAMPO VISIVO
veicoli delle categorie AM, A, A1, A2, B1, B, e BE [22]	- È richiesta una visione in orizzontale di almeno 120 gradi, con estensione di non meno di 50 gradi verso destra o verso sinistra e di 20 gradi verso l'alto e verso il basso. Non devono essere presenti difetti in un raggio di 20 gradi rispetto all'asse centrale. - Per i soggetti monocoli, organici o funzionali, devono possedere una visione in orizzontale di almeno 120 gradi e di non meno di 60 gradi verso destra o verso sinistra e di 25 gradi verso l'alto e 30 gradi verso il basso. Non devono essere presenti difetti in un raggio di 30 gradi rispetto all'asse centrale.
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E [22]	Il campo visivo orizzontale binoculare posseduto deve essere di almeno 160 gradi, con estensione di 80 gradi verso sinistra e verso destra e di 25 gradi verso l'alto e 30 verso il basso. Non devono essere presenti binocularmente difetti in un raggio di 30 gradi rispetto all'asse centrale.
PATENTE NAUTICA[23]	È richiesto un campo visivo nella norma. Tale patente non verrà rilasciata nè confermata se il candidato presenta: - un campo visivo ridotto, - se è colpito da diplopia o da visione binoculare difettosa, - se possiede scotoma centrale e paracentrale, ad esclusione dello scotoma fisiologico.
CLASSE 1 PILOTI COMMERCIALI [26]	È richiesto un campo visivo binoculare normale. Se un richiedente risulta avere un campo visivo difettoso può essere valutato come idoneo se il campo visivo binoculare è normale e la patologia sottostante è accettabile per il rilascio delle licenze. Chirurgia del glaucoma comporta inidoneità. Una valutazione d'idoneità può essere considerata 6 mesi dopo un intervento chirurgico di successo.
CLASSE 2 PILOTI PRIVATI[26]	Un richiedente con un difetto del campo visivo può essere considerato come idoneo se il campo visivo binoculare è normale e la patologia sottostante è accettabile.
PILOTI DI AEROMOBILI LEGGERI LAPL[26]	I candidati con un difetto del campo visivo possono essere giudicati idonei se il campo visivo binoculare o monoculare è normale.

In assenza di indicazioni specifiche, quando si fa riferimento ad un campo visivo nella norma, si può considerare l'estensione:

- 60° nasalmente,
- 50° superiormente,
- 90° temporalmente,
- circa 70° inferiormente [32].

3.4 Studi di ricerca

Una compromissione del campo visivo su uno o su entrambi gli occhi può essere dovuta ad una emianopsia omonima, che si verifica spesso in conseguenza ad un ictus, ma può anche derivare da traumi o tumori. Allo stesso modo la retinite pigmentosa è legata ad una perdita del campo visivo periferico, dovuto da un progressivo deterioramento delle cellule sensibili alla luce (fotorecettori) della retina[33]. Da uno studio di screening si è rilevata un'incidenza, nella perdita di campo visivo, da 3,0% a 3,5% per le persone di età compresa tra 16-60 anni e di circa 13,0% per coloro di età superiore a 65 anni. Circa la metà delle persone coinvolte nello studio, erano consapevoli del proprio deficit di campo visivo e le ragioni di tali deficienze si collegavano alla presenza di glaucoma, disturbi della retina e cataratta[34]. Il campo visivo ci permette di localizzare gli oggetti presenti nella periferia, tale abilità risulta sicuramente più importante per i conducenti, rispetto all'A.V., nella gestione degli imprevisti: pedoni o biciclette che attraversano la strada o modificano improvvisamente il loro percorso. Da uno studio condotto su pazienti, di 55 o più anni, affetti da glaucoma, è emerso che coloro che hanno una compromissione del campo visivo moderata o grave nel settore centrale di circa 24°, per l'occhio meno funzionante, hanno una più alta probabilità di coinvolgimento in incidenti. Si è dimostrato che soggetti con compromissioni gravi nell'area centrale avevano una probabilità sei volte maggiore di causare un incidente doloso e quattro volte di probabilità in più di incorrere in coinvolgimenti, non per colpa propria[35]. La visione periferica risulta essere fondamentale per alcuni compiti di guida tra cui il mantenimento della corsia, la stima della velocità (Bhise & Rockwell, 1971), l'individuazione di insorgenze brusche o il rilevamento di pericoli periferici. Un progetto della National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ha condotto uno studio sulle prestazioni di guida, per driver con periferiche perdite del campo

visivo (VFL) e quelli con campi visivi normali, utilizzando un simulatore ad alta fedeltà che replica l'esperienza di guida (NADS). Dallo studio è emerso che i due gruppi hanno eseguito comportamenti simili per quanto riguarda il movimento degli occhi, anche se il gruppo VFL ha avuto significativamente più lunghi sguardi verso il tachimetro e il gruppo di controllo ha guardato maggiormente lo specchietto retrovisore. Questo risultato può trovare spiegazione nel fatto che il mantenimento della velocità è una dimensione in cui l'uso della visione periferica è rilevante[36]. Il gruppo VFL ha mostrato una maggiore variabilità in posizione di corsia, in particolare durante l'ultima parte del percorso, uscendo dalla superstrada, e durante un evento di frenatura del veicolo che li precede. Il gruppo VFL ha anche adoperato un tempo maggiore per rispondere alle incursioni di un veicolo o di un pericolo imprevisto che ha avuto origine nella periferia, durante il compito di guida simulata. Tale studio, inoltre, smorza i risultati di studi precedenti in cui si era dimostrato che il gruppo VFL compensava la loro limitazione di campo con movimenti della testa. Per quanto riguarda l'implicazione della visione periferica nella guida lo Schepens Eye Research Institute ha condotto uno studio con lo scopo di determinare quali competenze di guida possano subire alterazioni dovute agli effetti di perdita di campo visivo. È emerso che driver con limitazioni del campo visivo binoculare orizzontali e verticali hanno mostrato in modo significativo ($p<0,05$) minori competenze nel mantenimento e nel cambio di corsia, nel mantenimento della direzione in curva e nella capacità di anticipare eventi potenzialmente pericolosi. Questi risultati portano alla conclusione che anche una lieve restrizione del campo periferico può avere un impatto negativo sulle manovre che richiedono un più ampio campo periferico. Al contrario una limitazione del campo visivo periferico non può compromettere abilità come il mantenere un'opportuna distanza di sicurezza, mantenere la velocità su tratti rettilinei e posizionarsi in maniera adeguata ad un incrocio; abilità che necessitano soprattutto di informazioni derivanti dal campo visivo centrale[37]. Da uno studio condotto con l'utilizzo di un simulatore di guida è emerso che conducenti con campi periferici ristretti avevano più difficoltà di posizionamento nella corsia, nel senso che tendevano a deviare verso sinistra nelle curve a sinistra e verso destra nelle curve a destra rispetto al gruppo controllo che, al contrario, manteneva la propria posizione nella careggiata indipendentemente dalla direzione delle curve[38].

Nel discriminare la direzione delle curve o nel compiere determinate manovre è stato dimostrato sia soprattutto dipendente dal campo verticale e non da quello orizzontale come verrebbe più facile pensare[37]. Dagli studi di Donges, successivamente supportati da Horwood si evince che la parte più distante della strada, vicino all'orizzonte nel meridiano verticale, fornisce informazioni riguardo la curvatura della strada, mentre le informazioni più accurate riguardo la propria posizione provengono dalla parte più vicina della strada, più sotto dell'orizzonte[39]. Una scuola di medicina, l'University of Alabama at Birmingham, nonostante abbia avvalorato gli studi precedenti, trovando che i soggetti anziani con una riduzione del campo visivo del 40% avessero una probabilità doppia di essere coinvolti in incidenti, allo stesso tempo ha anche evidenziato il fatto che gli anziani, consapevoli dei loro limiti, tendono ad autoregolarsi nella guida, prestando attenzione a "dove e quando" guidano. Questo può essere sicuramente un mezzo efficace per migliorare la sicurezza, pur mantenendo la mobilità. Un'ulteriore sicurezza, come suggerisce l'università dell'Alabama, consisterebbe nello sviluppare una batteria di test atti ad identificare il rischio che possono rappresentare tali soggetti e, quindi, consentire ai medici di dare consigli validi ai pazienti, alle famiglie e alle agenzie di rilascio patenti sulle capacità del soggetto e valutare gli interventi per ridurre il rischio di incidente in modo che gli anziani possano guidare finché è sicuro e possibile farlo[40]. Durante la guida la nostra attenzione è spesso attirata da distrattori visivi come i cartelloni pubblicitari o i vari accessori dotati di display presenti nell'automobile o da distrattori uditivi come l'autoradio, i cellulari e i navigatori satellitari. Da uno studio di Wood et al. (2006) è emerso che entrambe le categorie di distrattori riducono il campo visivo, peggiorando così la performance di guida[6]. È stato dimostrato che le persone più suscettibili agli effetti dei distrattori sono i più anziani[41]. Uno studio condotto da Chaparro et al. ha dimostrato che in presenza di distrattori la performance di guida subiva un peggioramento correlato quindi all'età cognitiva e non a quella cronologica[6]. Richard e al., nel 2002 avevano scoperto che il tempo necessario per rilevare un nuovo stimolo visivo aumenta in presenza di un distrattore uditivo. La letteratura suggerisce che la maggior parte degli incidenti stradali è causata da distrazione. Da un'indagine condotta dalla National Highway Traffic Safety Administration è emerso che un guidatore, impegnandosi in compiti secondari come parlare al telefono, ascoltare una conversazione o la radio, mangiare,

raddoppia il proprio rischio di avere incidenti. Inoltre è emerso che l'uso del telefono cellulare per mano o con l'uso del vivavoce determinano lo stesso grado di pericolosità, in quanto è più rischioso comunicare con il cellulare senza vivavoce, ma richiede un tempo minore, mentre con un dispositivo di vivavoce la telefonata si protrae per un tempo più lungo aumentando la durata dell'effetto distraente[42]. In conclusione i distrattori oltre a produrre un deterioramento nella performance di guida, determinano un rallentamento nell'identificazione dei nuovi stimoli, ovvero un rallentamento nei riflessi.

4. Sensibilità al contrasto

4.1 Generalità

La sensibilità al contrasto (S.C) è un'abilità del sistema visivo di primissima importanza, per tutte le attività quotidiane, soprattutto durante la conduzione di un mezzo. Durante la guida, la maggior parte degli stimoli sono oggetti presentati ad alto contrasto (basti pensare alla segnaletica stradale), ma le condizioni climatiche o l'opacizzazione del parabrezza in seguito all'accumulo di detriti, insetti ed umidità possono ridurre drasticamente il contrasto delle immagini. Per questo la S.C è un indicatore molto sensibile della prestazione visiva alla guida di un autoveicolo[43].

Per definire il concetto di S.C è necessario parlare prima del concetto di soglia. Quando si parla di soglia ci si riferisce al confine tra una sensazione percettiva e un'altra. La soglia può essere:

- assoluta: separa la percezione dello stimolo dalla non percezione e, quindi, coincide con il più piccolo stimolo che dà luogo ad una sensazione nel 50% dei casi,
- differenziale: la differenza minima di intensità tra due stimoli che permette ad un soggetto di rilevare delle differenze tra i due,
- terminale: quando un ulteriore aumento dello stimolo non viene più percepito.

Alla definizione di soglia si associa quella di sensibilità: maggiore è la soglia, ossia lo scalino da superare per avere una percezione, minore è la sensibilità. Possiamo pertanto definire la sensibilità = 1/ soglia[28]. Da un esperimento classico della psicofisica a cura di Hetcht, Shaler e Pirenne sul minimo visibile, si è dimostrato che quando la luce è emessa da una sorgente luminosa, sono necessari solamente 100 fotoni, che arrivano ai nostri occhi, per evocare una sensazione visiva e, di conseguenza, una soglia assoluta. Considerando poi i fenomeni di dispersione e assorbimento si può stabilire che solo sette di questi fotoni sono assorbiti dai bastoncelli e sono sufficienti a determinare il minimo visibile. Infatti i bastoncelli, maggiormente attivi nella visione periferica, hanno una maggior sensibilità alla luce, ma allo stesso tempo una minor capacità di vedere i dettagli, al contrario dei coni. Alla base della visione del contrasto è la rilevazione delle zone di buio e quelle di luce, dovuta all'inibizione/eccitazione delle cellule bipolari on-off.

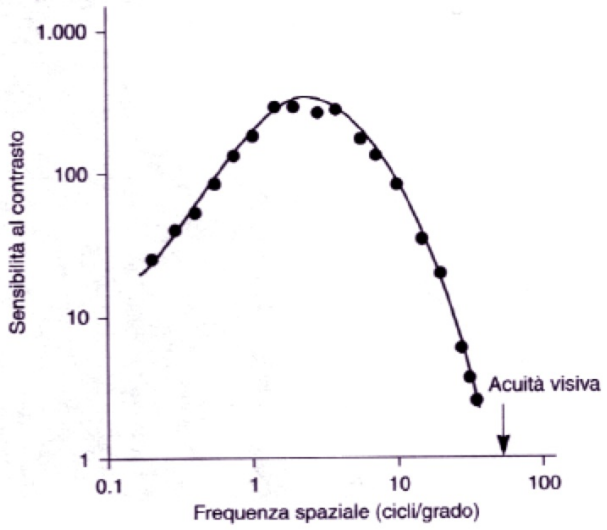
Il buio, per esempio, depolarizza e, quindi, attiva i coni eccitando le cellule bipolari-off e inibendo le cellule bipolari-on, grazie al rilascio del neurotrasmettitore glutammato. La luce al contrario, iperpolarizza e, perciò, inibisce i coni interrompendo il rilascio del neurotrasmettitore, con il risultato di inibire le cellule bipolari-off ed eccitare le cellule-on[44]. Nella pratica, se consideriamo gli stimoli luminosi, la differenza di luminanza fra zone chiare e zone scure è definito come contrasto. Più precisamente nel caso di un pattern periodico come un reticolo si definisce il contrasto dalla legge di Michelson:

$$\textbf{contrasto} = \frac{\textbf{Lmax}-\textbf{Lmin}}{\textbf{Lmax}+\textbf{Lmin}}$$

dove, L_{max} e L_{min} indicano la luminanza minima e massima di un reticolo. Se invece, lo stimolo è una macchia o una linea luminosa (o scura) su uno sfondo, il contrasto si definisce con la seguente relazione:

$$C_{\,\textbf{WEBER}} = \frac{\Delta L}{L}$$

La curva di S.C suggerisce che la nostra sensibilità è maggiore per le frequenze spaziali intermedie e diminuisce all'aumentare o al diminuire della frequenza spaziale. La maggior S.C si ha per frequenze spaziali di circa 5 cicli/° [45].



54

Figura 5: curva di SC per un adulto con visione normale. Scala logaritmica sia in ascissa, sia in ordinata. Disponibile al sito: http://win.pisavisionlab.org/teaching/burr/CorsoArrighi/ElementiPercezione/ElePerc_Cap3.ppt

Tale curva di S.C cambia in base all'età:

- per i bambini fino ai due mesi di vita la S.C è bassissima a tutte le frequenze spaziali,
- all'età di sei mesi è simile a quella di un adulto, anche se la sensibilità alle alte frequenze è ancora bassa,
- i soggetti anziani invece mostrano una ovvia riduzione di sensibilità per le frequenze spaziali alte e medie, ma stranamente anche un aumento di sensibilità per le frequenze basse[44].

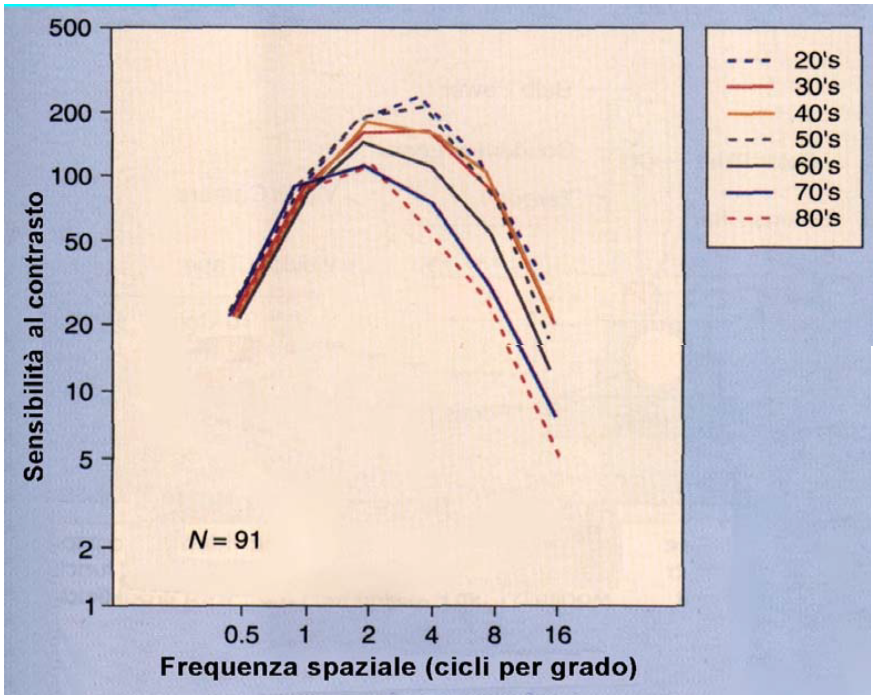


Figura 6: Variazione della curva di S.C in relazione all'età. Tratto da: Proposta di sequenza di test visivi per rilascio o rinnovo della Patente di Guida a cura di Nicola Pescosolido, Alessandro Farini, Giuseppe Migliori, 2011, pag 20.

4.2 Metodi di misurazione

Nella somministrazione del test vengono più frequentemente utilizzate le tavole di Pelli Robson (considerato il gold standard) o le tavole di VISTECH VCTS 6500. Le tavole di Pelli Robson sono costituite da una serie di 48 lettere (ripartite in 16 gruppi di 3 lettere disposte su 8 righe) dalle dimensioni di 4,9 x 4,9 centimetri e il test viene somministrato ad una distanza di 3 metri o al massimo 1 metro. Per ogni tripletta si registra una differenza nel logaritmo di registro della S.C di 0,15 e si parte dalla prima tripletta con contrasto 100%, arrivando all'ultima con contrasto di 0,6%. Attraverso l'uso di un luxometro ci si deve accertare che l'illuminamento ambientale sia di 280 lux, con una tolleranza tra 200 e 400 lux.

Il test va eseguito in visione binoculare, con correzione se il soggetto ne necessita e l'obiettivo è quello di determinare il limite di discriminazione, ossia la soglia di S.C del soggetto, chiedendo di riconoscere le lettere, partendo dalle superiori con contrasto maggiore fino a scendere alle lettere con minor contrasto. Il limite di soglia si raggiunge quando il soggetto non è più in grado di riconoscere due lettere per ogni tripletta. Nelle tavole di VISTECH VCTS sono utilizzati reticoli sinusoidali posti in 5 file di 9 reticoli ciascuna. La frequenza spaziale, costante per ogni fila, è di 1.5, 3, 6, 12, 18 C/° rispettivamente per fila. Il contrasto, inoltre, diminuisce da sinistra verso destra da 33 a 0 % (ad intervalli di 0.25 u log). Così come le tavole di Pelli Robson, tale test, va somministrato ad una distanza di tre metri e in visione binoculare[13].

4.3 Requisiti di sensibilità al contrasto nel rilascio delle varie

TABELLA IV: requisiti di SC previsti per il rilascio di patente di guida e nautica

CATEGORIA	REQUISITI DI S.C
veicoli delle categorie AM, A, A1, A2, B1, B, e BE [22]	È necessario riuscire a leggere almeno la tripletta numero 9 corrispondente al valore logaritmico di 1,20, che indica una soglia di contrasto del 6% circa.
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E [22]	È richiesto di riuscire a leggere almeno la tripletta numero 11 corrispondente al valore logaritmico 1,50 che indica una soglia di contrasto del 3% circa.
PATENTE NAUTICA[23]	Per soggetti ultra sessantenni o diabetici o affetti da glaucoma o neuro-otticopatie o cheratopatie o malattie degenerative corio-retiniche, deve essere accertata la S.C spaziale, che deve risultare almeno in un occhio superiore al 70% del normale con lettura di ottotipo di 3/10.

Per il rilascio delle patenti aeronautiche, licenze al porto d'armi e la possibilità di entrare nell'accademia militare è richiesta una visione del contrasto nella norma, anche se non si definisce cosa si intenda per "normale". Secondo il test di Pelli-Robson per soggetti emmetropi il valore di S.C nella norma corrisponde a S.C=1,79±0,11[46]. Punteggi inferiori a 1.5 unità logaritmiche (unit log) indicano una minorazione visiva e un punteggio inferiore a 1,0 unit log rappresenta una disabilità visiva. In uno studio condotto su trenta giovani (età media 22,5) e 42 anziani (età media 70,2) con normali occhi sani, la maggioranza dei soggetti giovani avevano una S.C di 1,80 unit log o superiore. La maggior parte dei soggetti più anziani invece, aveva una S.C di 1,65 unit log o superiore[47].

4.4 Sensibilità al contrasto nella conduzione di un mezzo

Molti studi sono stati intrapresi per andare ad analizzare che funzione può avere la S.C durante l'attività di guida. Patologie come cataratta, degenerazioni maculari, neuriti ottiche, glaucoma, degenerazioni retiniche, retinopatia diabetica e malattie della cornea sono causa di riduzione di S.C[19]. I soggetti con compromissioni di S.C lamentano di percepire le figure sfuocate, come fossero nebbia e di avere grosse difficoltà ad indentificare oggetti a basso contrasto come i tratti del viso. Questa compromissione può, comunque, dare una migliore performance visiva in determinate condizioni di luce. È stato dimostrato, infatti, che soggetti con una perdita della funzione di S.C richiedono da 3 a 10 volte di più d'illuminazione durante la lettura rispetto a coetanei con S.C nella norma[48]. Secondo Shiner & Schieber (1991) "la capacità di distinguere i grandi obiettivi rispetto ai loro sfondi a basso contrasto è molto più importante per le esigenze visive di guida rispetto alla capacità di distinguere piccoli dettagli sotto un'illuminazione ottimale"[28]. La maggior parte dei segnali stradali, di fatto, sono costituiti da grandi lettere o grandi simboli che sono facilmente discriminabili anche a lunghe distanze e, quindi, a basse frequenze spaziali. Per soggetti con una S.C sotto 1.35 (4%), per le tavole di Pelli-Robson, Marottoli et al. (1998) trovarono un rischio relativo di [2], per quanto riguarda il coinvolgimento in incidenti. Dunne et al. (1998) rilevarono che la probabilità di avere incidenti è doppia per i soggetti con compromissione di S.C[49]. Da uno studio di Owsley emerge che i conducenti coinvolti in incidenti avevano una probabilità di otto volte maggiore di avere una S.C al di sotto di 1,25 (4-6%), rispetto ai conducenti non coinvolti in schianti. Un grave deficit di S.C, anche in un solo occhio, è significativamente associato con il coinvolgimento in incidenti. In conclusione una compromissione della S.C, dovuta alla presenza di cataratta, causa più frequente, o altre patologie oculari e neurologiche, soprattutto tra i soggetti più anziani, aumenta il rischio di incidenti per i conducenti[50]. I soggetti affetti da cataratta, da uno studio di Owsley, hanno dimostrato di ridurre i giorni di esposizione alla guida e il numero di destinazioni a settimana, guidando più lentamente rispetto al flusso generale del traffico, segnalando difficoltà in situazioni di guida impegnative con una probabilità di quattro volte maggiore rispetto a soggetti non affetti da cataratta[51].

Pfoff e Werner (1994) hanno dimostrato che una soluzione a tali problematiche è appunto la chirurgia della cataratta che porta ad un miglioramento della S.C e una diminuzione della sensibilità d'abbagliamento, oltre ad un aumento della guida notturna[49]. Da uno studio condotto da Ginsburg, Evans e Sekule, la S.C è risultata maggiormente predittiva rispetto all'A.V, per valutare la capacità di un pilota d'aerei di rilevare un piccolo bersaglio a terra[52]. Contrariamente uno studio condotto da USAF (United State Air Force), mostra una mancanza di correlazione tra la S.C in ogni particolare frequenza spaziale e la capacità di rilevazione dei bersagli, anche per giorni con condizioni simili di visibilità. I piloti presi in considerazione in tale studio erano 67 e venivano isolati in un autobus vicino alla fine di una pista in giorni separati e veniva chiesto loro di rilevare un velivolo jet durante circa 8 atterraggi. Alla fine dello studio è emerso che sia nei giorni di piena nuvolosità sia in quelli di nuvolosità parziale, né la S.C, né A.V. erano ben correlati con la capacità di rilevazione del pilota, del velivolo reale[53].

Il test della S.C sicuramente è in grado di darci una valutazione più completa della funzione visiva rispetto al normale test di A.V. Da tale studio è risultato che il test delle tavole di Vistecht è sensibile alla condizione di cicloplegia: prendendo in considerazione le soglie di S.C di 106 candidati a 5 frequenze spaziali prima e dopo la somministrazione di un cicloplegico, i valori si sono ridotti di circa il 20%. Nonostante questo esito, il VCTS è risultato essere un test utile e affidabile per determinare la S.C negli esami di screening militari[54].

5. Altri test

5.1 Visione crepuscolare

Lo strato deputato alla trasduzione dell'energia luminosa in potenziali elettrici è lo strato dei coni e dei bastoncelli. I bastoncelli nel segmento esterno, presentano una serie di dischi impacchettati che derivano dalla membrana esterna e all'interno è contenuto il pigmento visivo, chiamato rodopsina. Nei coni, invece, vi sono tre tipi diversi di pigmenti visivi, sensibili alle radiazioni del rosso, verde e blu. I bastoncelli, la cui presenza aumenta dal centro alla periferia della retina e completamente assenti in fovea, sono molto sensibili alla luce, ma non sono altrettanto capaci di percepire i colori, ed è per questo motivo che vengono considerati responsabili della visione crepuscolare e notturna[55]. Questa differenza di risoluzione visiva concessa da coni e bastoncelli è dovuta al fatto che ciascun cono della regione foveale è collegato individualmente a fibre del nervo ottico e ciò consente una maggiore risoluzione visiva. I bastoncelli, al contrario convergono in più elementi sullo stesso neurone successivo, migliorando e, quindi, amplificando il segnale per le basse luminanze, ma peggiorando la nitidezza delle immagini.

La visione crepuscolare è, dunque, la capacità di risoluzione degli occhi anche in condizioni di bassa luminanza, condizione tipica delle attività serali o notturne. Tale visione, detta visione scotopica, è dovuta ai bastoncelli, che occupano la parte paracentrale e periferica del campo retinico ed è appunto per questo motivo che, in condizioni di semioscurità, si vede meglio guardando con la coda dell'occhio, anche se in maniera meno nitida. Condizioni particolari, quali difetti miopici, astigmatici, alterazione di trasparenza dei mezzi o altre patologie retiniche comportano notevoli problemi durante la visione crepuscolare portando ad affaticamento accomodativo e riduzione della sensibilità al contrasto[56]. La dilatazione della pupilla, in condizioni di bassa luminosità delle ore notturne, ancora più accentuato nei miopi per i quali si manifesta la miopia notturna, può essere dovuta all'assenza di un preciso punto su cui posizionare l'accomodazione, ad uno spostamento in avanti del cristallino durante midriasi o dall'aumentata influenza dell'aberrazione sferica, rendendo manifesti quei piccoli difetti che in condizione di normale luminosità non vengono rilevati[28].

Adattamento al buio

I bastoncelli sono sensibili a piccole quantità di energia, la loro attivazione può essere provocata anche da un singolo fotone, al contrario dei coni, che sono sensibili a livelli superiori di energia (200 fotoni). A livelli intermedi, ossia in condizione di visione mesopica, sia coni che bastoncelli sono attivi. Quando ci si trova in un ambiente in cui si passa da una condizione di luce ad un'altra di buio o viceversa, il nostro occhio va incontro ad un processo di adattamento. Il processo di adattamento alla luce, dovuto all'azione dei coni, è abbastanza veloce (5 minuti) mentre il processo di adattamento al buio, dovuto ai bastoncelli, è molto più lungo (30 minuti)[57]. La lunga durata del periodo di adattamento dei bastoncelli suggerisce quanto sia compromessa la visibilità al crepuscolo e con la consapevolezza di tale limite è auspicabile prestare una maggior attenzione, soprattutto durante le ore del tramonto. Nell'adattamento al buio inizialmente i bastoncelli diventano maggiormente sensibili, grazie alla risintesi delle molecole di fotopigmento, che avviene più rapidamente nei coni che nei bastoncelli. Dopo un'ora dall'iniziale adattamento subentra un fenomeno che interessa la retina: i bastoncelli, in presenza di illuminazione crepuscolare, creano dei collegamenti diretti con i coni, attraverso le giunzioni gap, mantenendo le caratteristiche di opponenza centro-periferia (on-off). Dopo questo iniziale adattamento al buio, i bastoncelli, tramite le cellule amacrine, inibiscono il segnale off e attivano quello on nelle cellule bipolari dei coni, con il risultato, di creare, nelle cellule gangliari, un segnale senza opponenza centro periferia. Tale processo di disconnessione crea un segnale continuo ed eccitatorio, eliminando l'inibizione della periferia e permettendo di utilizzare al massimo lo scarso segnale luminoso[58].

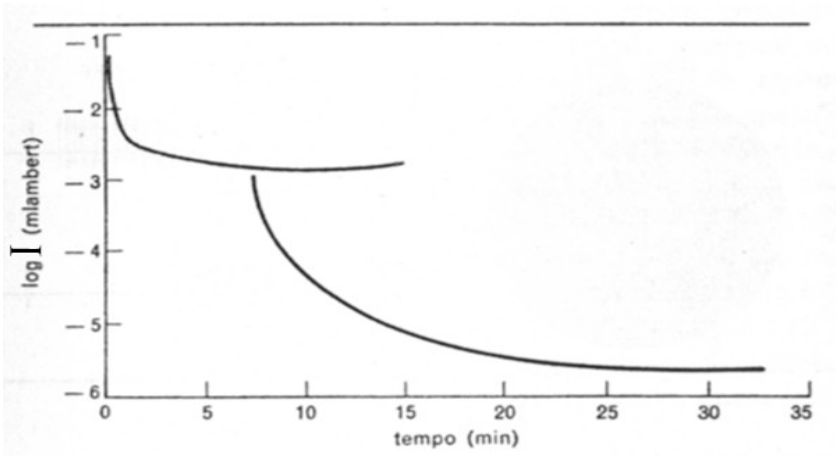


Figura 7: Il processo di adattamento al buio ha due componenti: i coni (curva a sinistra) si adattano in circa 7minuti e i bastoncelli in circa 25 minuti guadagniamo 4 unità logaritmiche (da La visione di L.Maffei e L. Mecacci).

La valutazione della visione crepuscolare viene effettuata in visione binoculare, grazie all'utilizzo della tavola ottotipica a stampa con simboli di Sloan e progressione lineare, posta a 3 o 5 m, oppure con l'utilizzo di un dispositivo elettronico programmato e tarato. L'ambiente inoltre dev'essere oscurato fino al raggiungimento di un'illuminazione di 1 o 2 lux, e l'illuminamento della tavola ottotipica dev'essere compresa tra 0,8 e 1,2 lux. Prima di somministrare il test si attendono 10 minuti per l'adattamento al buio e poi si procede alla verifica dell'A.V.[13] Una condizione che può danneggiare la visione crepuscolare è la retinite pigmentosa, la quale causa una scarsa efficienza dei recettori retinici. Tale patologia consiste in un processo di atrofia, completamente irreversibile, in cui inizialmente vengono colpiti i bastoncelli, a livello della retina periferica, e successivamente anche i coni. Si manifesta con l'accumulo di foci di pigmento, che, come macchie, si dispongono nella periferia della retina, dandole così il caratteristico nome di retinite pigmentosa. Dal momento che la degenerazione ha inizio dalla periferia, i primi sintomi sono quelli di una perdita progressiva della visione notturna, del campo periferico, sino a divenire tubulare e diminuzione dell'A.V., che può progredire fino alla cecità[59].

TABELLA V: requisiti di visione crepuscolare richiesti per il rilascio delle varie licenze

CATEGORIA	REQUISITI DI VISIONE CREPUSCOLARE
veicoli delle categorie AM, A, A1,A2, B1, B, e BE [60]	L'A.V. binoculare deve risultare di 1/10
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E [60]	L'A.V. binoculare deve risultare pari almeno, ai 2/10

Per il rilascio delle altre patenti prese in considerazione viene richiesta una sufficiente visione crepuscolare-notturna, pur non indicando dei valori di riferimento.

5.2 Sensibilità all'abbagliamento (S.A)

L'abbagliamento si può definire come un fenomeno fastidioso per i nostri occhi e può essere causato dalla presenza nel campo visivo di una zona con contrasto di luminanza molto elevato, rispetto alla luminanza media del campo circostante (luminanza di adattamento).

Tale condizione porta ad una riduzione della capacità visiva dell'individuo per effetto di uno sbiancamento dell'immagine con conseguente riduzione della S.C e, pertanto anche di A.V., dovuta ad una iperstimolazione del fotopigmento.

È possibile incorrere in abbagliamento per esempio, quando di notte incrociamo un veicolo con fari abbaglianti, usciamo da una galleria o quando guardiamo delle fonti luminose riflesse su superfici lucide[61].

Vi sono due tipi di abbagliamento:

- Abbagliamento debilitante (disability glare) che consiste in un peggioramento istantaneo delle funzioni visive. Questo tipo di abbagliamento si ottiene guardando una zona che aumenta di luminosità senza cambiare il contrasto dell'immagine, che il nostro occhio interpreta come una perdita di S.C.
- Abbagliamento fastidioso (discomfort glare) che si manifesta come un senso di disagio visivo che non sempre causa forti deficienze della visione, ma che, a lungo andare, può provocare fatica visiva, stress, difficoltà di concentrazione, riduzione della capacità di attenzione, aumento delle probabilità di errore e, quindi, una diminuzione di rendimento[62].

Per la somministrazione di tale test è necessario un ottotipo posto a 3 metri o un equivalente dispositivo elettronico programmato e tarato. Ad un metro dal centro della tavola ottotipica, a destra e a sinistra, sono poste due lampade, con emissione luminosa da 900 a 1200 lumen, tali da creare un'illuminazione da 400 a 500 Lux. Si valuta la diffusione dei mezzi oculari tramite una fonte di luce posta ad un angolo tale da non interferire direttamente con la regione maculare (15°).

In presenza di diffusione si distribuirà un velo di luminanza sull'intera retina, causando una perdita di contrasto. L'illuminazione dell'ambiente prima dell'accensione delle 2 lampade deve essere tale da creare un illuminamento sulla tavola ottotipica di 300 lux. Dopo aver acceso le due lampade ai lati dell'ottotipo, viene richiesto al soggetto di leggere, in visione binoculare, almeno le lettere presenti nella prima o nella seconda riga. Sono disponibili in commercio anche altri strumenti elettronici per lo studio dell'abbagliamento tra cui: Optec Glare Tester, Vistech Multivision Contrast Tester, Miller Nadler Glare Tester, Oculus Mesotec ecc[1].

TABELLA VI: Requisiti di S.A richiesti per il rilascio della varie licenze:

CATEGORIA	REQUISITI DI S.A
veicoli delle categorie AM, A, A1, A2, B1, B, e BE[60]	è richiesta la lettura di almeno i due terzi delle lettere presenti nella prima riga, corrispondente a 1/10 nel tempo massimo di un minuto
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E [60]	è richiesta la lettura entro lo stesso tempo massimo di un minuto delle lettere della seconda riga, corrispondente a 2/10

Per il rilascio delle altre licenze non è prevista la valutazione S.A.

5.3 Tempo di recupero dopo l'abbagliamento

Questo valore esprime l'intervallo di tempo necessario a recuperare una visione sufficiente dopo aver affrontato rapidi e intensi incrementi di luminosità che inducono abbagliamento, condizione che rende incapaci di vedere centralmente per alcuni secondi/minuti. La postimmagine inizialmente percepita è simile all'immagine originale ma poi diventa negativa ossia le parti luminose diventano scure e viceversa. Questo effetto è causato da una saturazione dei fotorecettori che necessitano di un determinato tempo di recupero per riprodurre il fotopigmento. Un prolungato tempo di recupero all'abbagliamento rappresenta un pericolo per la sicurezza nella conduzione di un mezzo. Nella somministrazione di tale test viene utilizzata un ottotipo posto a 3 metri, a stampa con simboli di Sloan e progressione lineare o un dispositivo elettronico equivalente. E' previsto l'utilizzo di una sorgente luminosa che produca un illuminamento di 200 lux a 20 cm (es. penna luminosa appropriata, oftalmoscopio ecc), in posizione ortogonale rispetto al sensore del luxmetro. L'ambiente rimane oscurato durante il periodo di adattamento al buio (1 minuto), mentre durante la lettura l'ambiente deve produrre un illuminamento di 300 lux sulla tavola ottotipica. Il test viene condotto monocularmente sui due occhi con l'eventuale correzione dell'ametropia. Dopo l'adattamento al buio per un tempo massimo di un minuto, si occlude un occhio e si pone la sorgente luminosa a 20 cm dall'occhio controlaterale per un tempo di dieci secondi, chiedendo al soggetto di fissare la luce. Dopo aver spento la sorgente abbagliante si riaccendono le luci e si chiede al soggetto di leggere la riga corrispondente a 2/10 per le patenti del gruppo 1, nel tempo massimo di un minuto e la riga dei 4/10 per le patenti del gruppo 2, nel tempo massimo di 30 secondi. La lettura della riga si considera valida solo se vengono riconosciute il 50% delle lettere nel tempo stabilito.

Se la riga relativa non viene letta nel tempo massimo previsto, si ripete la procedura cambiando occhio. Nella determinazione dei risultati si considera l'occhio che ha raggiunto l'esito migliore[13].

TABELLA VII: Requisiti richiesti per il rilascio delle varie licenze

CATEGORIA	REQUISITI DI TEMPO DI RECUPERO DOPO L'ABBAGLIAMENTO
veicoli delle categorie AM, A, A1, A2, B1, B, e BE[60]	viene richiesto di leggere la riga corrispondente ai 2/10 nel tempo di 1 minuto.
veicoli delle categorie C, CE, C1, C1E, D, DE, D1 e D1E[60]	viene richiesto di leggere la riga corrispondente ai 4/10 nel tempo di 30 secondi.

Nel rilascio delle altre licenze non è prevista la valutazione del tempo di recupero dopo abbagliamento. È dimostrato che in presenza di alterazioni maculari i tempi di recupero all'abbagliamento sono ridotti.

5.4 Visione dei colori

In condizioni di normale luminosità un soggetto in genere è in grado di percepire radiazioni elettromagnetiche la cui lunghezza d'onda è compresa tra 380 e 760 nm (intervallo corrispondente alla porzione spettrale). I bastoncelli non partecipano alla visione dei colori. Nella retina sono presenti tre tipi di pigmenti contenuti nei coni e ciascun pigmento è in grado di rilevare la presenza di luce di una determinata lunghezza d'onda:

- CONI S: coni sensibili alle lunghezze d'onda brevi (pigmento cianolabile), questo tipo di coni ha un picco nella regione del viola e rappresenta il 13% dei coni, massimo assorbimento a 420 nm;
- CONI M: coni particolarmente sensibili alle lunghezze d'onda medie (pigmento clorolabile), questo tipo di coni ha un picco nella regione verde con un massimo di assorbimento a 530 nm e comprende il 54% dei coni;
- CONI L: coni sensibili alle lunghezze d'onda lunghe (pigmento eritrolabile), ha un picco nella regione del giallo-verde con un massimo d'assorbimento a 565 nm e rappresenta il 38% dei coni[28].

I segnali che partono dai coni sono poi trasmessi alle cellule bipolari e da qui alle cellule gangliari che emettono verso il cervello gli impulsi nervosi, modificandone la frequenza, per arrivare infine al cervello.

Ogni cellula gangliare è connessa con un certo numero di fotorecettori e l'area retinica connessa con una certa cellula gangliare è detta campo recettivo. Il campo recettivo appare generalmente diviso in due zone: un cerchio centrale, che colpito determina un aumento di frequenza, e un anello esterno che colpito, determina una diminuzione di frequenza. Tale meccanismo avviene nelle cellule a centro on, mentre per le cellule centro off si ha un processo esattamente opposto[63]. Le cellule gangliari hanno, dunque, un'organizzazione centro periferia e tale programmazione sta alla base di un meccanismo di opponenza cromatica proposto da Hering. Nel nucleo genicolato laterale, le cellule P (sistema parvocellulare) mostrano i tre meccanismi di opponenza cromatica suggerendo che la percezione dei colori sia basata sulla risposta di tre meccanismi che operano sull'opponenza di due colori:

- Opponenza rosso-verde,
- Opponenza blu-giallo,
- Opponenza Bianco-Nero (canale acromatico)[64].

Il D.Lgs 59 del 2011 in tema di rilascio o rinnovo delle patenti di guida non prevede la valutazione del senso cromatico.

TABELLA VIII: requisiti cromatici richiesti per il rilascio delle varie licenze

CATEGORIA	REQUISITI DI VISIONE CROMATICA
PATENTE NAUTICA[23]	È richiesto un senso cromatico abbastanza veloce per distinguere con sicurezza i colori in uso nei segnalamenti marittimi (rosso, verde, blu) e nelle regole per evitare gli abbordi in mare
LICENZA PER PORTO D'ARMI per uso di caccia e per l'esercizio dello sport del tiro al volo [24]	È richiesto un senso cromatico sufficiente da poter riconoscere i colori principali con il test delle matassine colorate. Per il rilascio della licenza di porto d'armi per uso personale i requisiti sono gli stessi.
CLASSE 1 PILOTI COMMERCIALI[26]	Considerando la visione dei colori per tale analisi viene utilizzato il test di Ishihara (versione 24 piastre). La prova si intende superata se i primi 15 piatti, presentati in ordine casuale, vengono identificati senza errori. Nel caso il test di Ishihara risulti fallimentare, i soggetti devono essere esaminati mediante anomaloscopy (o equivalente Nagel) o attraverso il test della lanterna con una lanterna Spectrolux, Beynes o Holmes-Wright.
CLASSE 2 PILOTI PRIVATI[26]	I requisiti di visione cromatica sono gli stessi richiesti per i piloti di classe 1. Nel caso di certificati medici di classe 2, ove i richiedenti non abbiano una percezione soddisfacente dei colori, i privilegi della licenza di volo possono essere limitati alle ore diurne
PILOTI DI AEROMOBILI LEGGERI LAPL[26]	I requisiti cromatici sono gli stessi richiesti per il rilascio delle patenti per piloti di classe 1 e 2.

Il colore è molto utilizzato nell'aviazione, sia all'interno che all'esterno della cabina di guida, per codificare le informazioni importanti:

• Anti fari collisione e flash sono di colore rosso o bianco,

• Luci di navigazione sono di colore rosso, verde e bianco,

• Fari rotanti / lampeggianti di colore rosso o blu segnalano veicoli di emergenza a terra,

• Luci rosse, ambra, luci bianche, verdi e blu sono utilizzati in aeroporti e aree di parcheggio,

• Il pannello degli strumenti convenzionali spesso portano numeri colorati, archi e settori, tipicamente rosso, giallo , bianco , verde o rosso.

La percezione del colore migliora le prestazioni dei piloti (sia in velocità e precisione), dei compiti che devono compiere e favorisce il riconoscimento di oggetti. Sicuramente, coloro che hanno dei deficit nella percezione del colore, sono meno pronti a rispondere alle informazioni derivate dalla codifica dei segnali luminosi[65].

5.5 Studi di ricerca

È noto che la guida notturna e gli effetti abbaglianti dei fari delle macchine costituiscono un reale motivo di pericolo per la sicurezza stradale. Da uno studio condotto in conducenti adulti, utilizzando il test halometer, è emerso che una ridotta visione mesopica e una maggiore S.A, condizione che si verifica ad esempio in soggetti con principio di cataratta, sono accompagnate da un aumento del rischio d'incidenti notturni. Diventa, per questo, importante monitorare tali soggetti verificando se rispondono ai parametri richiesti e rendendoli coscienti del potenziale pericolo che costituiscono, nonostante la loro A.V. sia sufficiente[66]. L'autolimitazione all'attività di guida per soggetti anziani, si è verificata per gli uomini, in associazione ad una riduzione di S.C mentre per le donne, in associazione con l'A.V. a basso contrasto in abbagliamento o con l'età[67].

Negli ultimi anni si è cercato di studiare l'impatto che la distribuzione e l'intensità del fascio dei fari delle automobili hanno sui conducenti e quanto possano essere invalidanti per la guida dei soggetti che si incrociano lungo il proprio cammino.

Una forte S.A comporta un decremento di visibilità o una riduzione del contrasto di oggetti posti sulla strada e, quindi, una minor capacità di distinguere la presenza di pedoni lungo la strada.

Inoltre, l'abbagliamento determina una diminuzione della capacità di rilevazione delle distanze e di conseguenza una maggior probabilità di essere coinvolti in collisioni[68]. Il tasso di mortalità notturna è dalle quattro alle due volte superiore a quello giornaliero[69] e gli effetti sono maggiori per quanto riguarda gli incidenti mortali che coinvolgono i pedoni, dove i tassi di mortalità pedonale notturna sono sette volte maggiori rispetto ai tassi delle ore giornaliere[70]. Da uno studio condotto dalla "Queensland University of Technology" in Australia, è emerso che il test d'A.V. condotto in condizioni fotopiche, come previsto dalle normative, non può essere predittivo delle prestazioni che il conducente può avere in condizioni mesopiche o scotopiche. Tuttavia il test di S.C è risultato essere significativamente correlato con l'A.V. in livelli di bassa luminanza e fornisce, dunque, migliori previsioni riguardo le prestazioni notturne o comunque le prestazioni di guida reali. Tale studio, per poter prevedere al meglio le condizioni di guida nel mondo reale, sia in condizioni fotopiche, sia mesopiche, suggerisce l'uso di due test quali la S.C fotopica e l'A.V. mesopica[71]. La teoria del "degrado selettivo" ci suggerisce che compiti visivi, che si basano sulla visione foveale, come per esempio l'identificazione di segni e la rilevazione di pericoli possono essere compromessi da sfuocamenti visivi e da condizioni di illuminazione ridotta, mentre compiti che si basano sulla visione periferica, come mantenimento della corsia e della velocità, sono relativamente indipendenti da condizioni di sfuocatura o bassa illuminazione[72]. In uno studio che ha esaminato gli effetti della disabilità visiva simulata sulle prestazioni di guida notturna e il riconoscimento dei pedoni in condizioni reali di strada ha concluso che la scelta di limitare la velocità di guida può essere considerata una misura compensativa adottata da conducenti con problemi visivi o invecchiamento, ma è raramente sufficiente a compensare le ridotte prestazioni di guida. Inoltre, è emerso che danni visivi compromettono in maniera significativa il compito di guida notturna, soprattutto se tali danni sono indotti da cataratta o altre opacità dei mezzi. Ciò implica che sia la correzione degli errori di rifrazione ed interventi chirurgici di cataratta hanno il potenziale per migliorare le prestazioni guida notturna. Per migliorare la visibilità dei pedoni, in tale studio si supporta l'adozione di abbigliamento "Bio Motion", soprattutto per chi lavora nelle strade. Questi marcatori riflettenti che creano movimento biologico, risultano maggiormente visibili rispetto ai giubbotti rinfrangenti e, quindi, possono contribuire alla sicurezza stradale[73].

6. Visione binoculare

6.1 Generalità

L'uomo è dotato di visione binoculare. Non tutti gli animali ne beneficiano, infatti la maggior parte di questi presentano i loro occhi in una posizione più laterale, in modo da ottenere una maggior panoramica, ma sicuramente una visione meno nitida per quanto riguarda la fusione binoculare[74]. Nell'uomo invece, gli occhi collaborano per formare un'immagine unica partendo da due immagini monoculari, in tale percezione, detta ciclopica, si parla di binocularità, mentre nel caso di due percezioni separate si parla di biocularità[75]. È proprio grazie alla binocularità che l'uomo amplia il proprio campo visivo e distingue meglio lo spazio, la profondità e le distanze tra gli oggetti. La visione binoculare, quindi, compensa il punto cieco fisiologico, sommando le parti di retine funzionanti dell'occhio contro-laterale. Inoltre, consente un'A.V. superiore a quella monoculare, determina un ingrandimento dell'oggetto fissato e infine, per mezzo della visione stereoscopica, ci consente di interpretare al meglio la collocazione spaziale degli oggetti[4].

Presupposto necessario per ottenere una visione binoculare singola è l'integrità anatomica, sensoriale e motoria dell'apparato visivo. L'integrità anatomica e diottrica del bulbo oculare costituisce un presupposto fondamentale affinché le immagini ricevute da ciascun occhio siano nitide e di dimensioni simili. Lo stimolo luminoso parte dalla retina, dove viene trasformato in impulso nervoso a livello dei fotorecettori, grazie alla degradazione di quest'ultimi. I bastoncelli, contengono la rodopsina, la quale, una volta colpita da un fotone, cambia conformazione, determinando una modificazione della permeabilità di membrana e successivamente un potenziale d'azione. Inizia così un flusso di cariche elettriche che raggiunge le cellule bipolari, quelle ganglionari e, attraverso il nervo ottico e i tratti ottici, il corpo genicolato laterale[76].

Il nervo ottico fuoriesce dall'orbita dal forame ottico e a livello della sella ossea (turcica) si incontra con il nervo ottico dell'altro occhio e incrociandosi formano il chiasma[75]. Il chiasma ottico coincide con l'incontro dei tratti endocranici dei nervi ottici i quali, confluiscono in una formazione unica. A livello del chiasma le fibre temporali di entrambi i nervi ottici proseguono il loro andamento verso la corteccia visiva mentre le fibre nasali si incrociano medialmente al chiasma e si portano così nell'altro lato.

In questo modo, dunque, i fasci nasali sono controlaterali alla retina da cui arrivano mentre quelli temporali si mantengono omolaterali alla retina da cui provengono[77]. Questa emidecussazione a livello del chiasma ottico contribuisce a rendere più precisa la coordinazione oculomotoria[76]. Il campo visivo è la porzione dello spazio percepito dalla retina. Campo visivo e retina hanno però un rapporto inverso, dal momento che le due emiretine temporali percepiscono i due emicampi visivi nasali e le due emiretine nasali percepiscono i due emicampi visivi temporali. Allo stesso modo le due emiretine superiori corrispondono ai due emicampi visivi inferiori e le due emiretine inferiori corrispondono ai due emicampi visivi superiori[77].

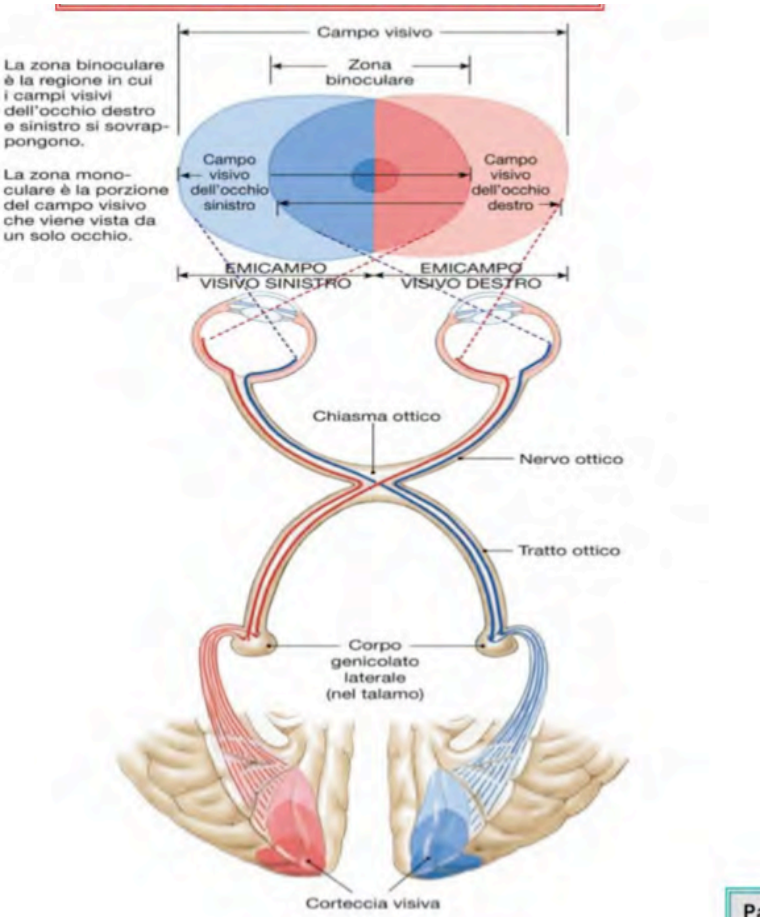


Figura 8: Vie visive centrali. Fisiologia della visione, Fisiologia II Palmeri, pag 60

Passato, quindi, il chiasma, l'informazione continua attraverso i tratti ottici, ciascuno dei quali conduce l'immagine proveniente dall'emicampo controlaterale verso:

- il corpo genicolato laterale (quota maggiore);

- il tetto del mesencefalo e regione pretettale, responsabile del riflesso pupillare alla luce e all'accomodazione;
- il nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo [78].

La corteccia visiva, o area 17 di Brodmann, è il punto d'arrivo delle vie ottiche e si trova nel lobo più posteriore del cervello. Nella porzione posteriore, molto estesa, del lobo occipitale si proiettano le fibre nervose provenienti dalle due fovee mentre nella porzione anteriore, meno estesa, si proiettano le fibre nervose delle restanti emiretine. Proprio per questo motivo la rappresentazione foveale centrale è maggiore rispetto a quella periferica[77].

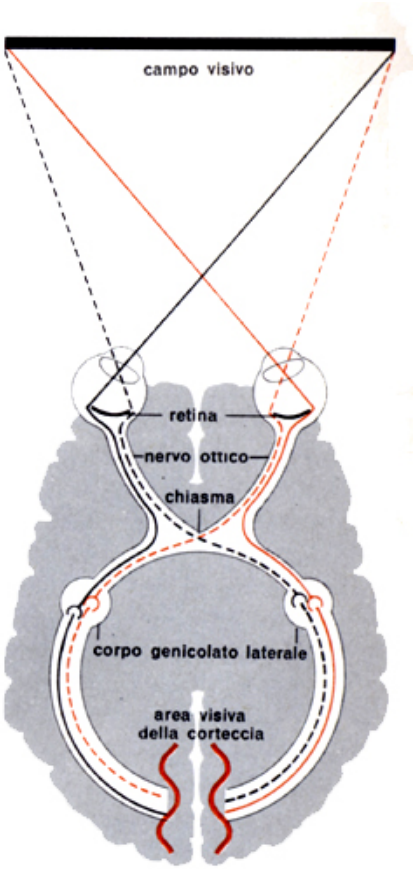


Figura 9: Il rapporto spaziale tra campi visivi e corteccia visiva.
Luce e visione. C. Mueller, M. Rudolph Mondatori Edit. 1968

La visione binoculare è, quindi, un processo di ordine corticale che ci consente la percezione simultanea dei due occhi derivante dalla capacità di creare un'unica immagine tridimensionale, partendo dai differenti stimoli provenienti dai due occhi[6]. Affinché le due immagini retiniche si uniscano in una singola percezione, le direzioni dei due occhi devono essere simili e gli assi visivi non devono subire deviazioni.

Tutti i punti presenti nello spazio che creano un'immagine su aree corrispondenti, e per questo vengono visti singolarmente, vanno a formare l'oroptero (forma circolare). I punti che non si trovano né sull'oroptero, né sulla verticale del punto di fissazione, non stimolano aree corrispondenti e determinano, pertanto, diplopia[75].

È possibile avere due tipi di diplopia:

- DIPLOPIA OMONIMA. In questo tipo di diplopia l'oggetto viene localizzato dallo lato dell'occhio che lo ha originato e questa si manifesta anche nelle deviazioni di tipo eso.
- DIPLOPIA CROCIATA: gli oggetti sono localizzati dal lato opposto rispetto all'occhio che li ha originati. La diplopia crociata si manifesta nelle deviazioni di tipo exo[79].

6.2. I tre gradi della percezione binoculare

1) Percezione simultanea (primo grado): consiste nella percezione di un'immagine da parte di entrambi gli occhi contemporaneamente (se le immagini cadono su aree corrispondenti si parla di sovrapposizione). Tale abilità presuppone l'assenza del fenomeno di soppressione di uno dei due occhi ed è sinonimo di biocularità.

2) Fusione (secondo grado): abbiamo due tipi di fusione.

- fusione motoria con la quale si intende la capacità dell'apparato muscolare di posizionare su aree corrispondenti le immagini dell'oggetto;
- fusione sensoriale con la quale si intende la capacità psichica di ricavare una rappresentazione visiva singola e unitaria a partire da due immagini retiniche simili, detta anche fusione piatta.

Quando la percezione di un occhio è dominante sull'altro si parla di dominanza oculare, ossia moderata rivalità binoculare[75].

3) Stereopsi (terzo grado): dal momento che gli occhi hanno posizioni orizzontali diverse, le immagini che vengono percepite sono leggermente diverse; il sistema visivo è in grado di elaborare questa bivalenza per ottenere indicazioni di profondità e posizione spaziale di un oggetto[80]. La disparità che dà origine alla stereopsi non è da confondersi con la disparità di fissazione nella quale gli occhi fissano posizioni spaziali differenti e che porta alla riduzione della stereoacuità.

Affinché si manifesti la stereopsi devono essere presenti:

- fissazione bifoveale,
- fusione,
- sufficiente acuità spaziale,
- visione simile tra i due occhi[75].

Per mantenere le immagini dello stesso oggetto su aree corrispondenti entrano in gioco l'apparato muscolare estrinseco che ha il compito di orientare gli occhi e, quindi, le fovee sullo stesso punto d'interesse. Tale condizione, detta di ortoforia si discosta dalla condizione per la quale gli occhi non si orientano adeguatamente creando, dunque, una condizione di disparità di fissazione. Nonostante due oggetti possano stimolare due aree retiniche non corrispondenti possono, comunque, essere fusi in un'unica immagine se compresi in una aree di tolleranza, definita come "area di Panum". Quando però la disparità di fissazione eccede l'estensione di tale area la percezione risultante sarà di diplopia[75].

La misura di questi limiti indica la massima deviazione verticale ed orizzontale che l'occhio può affrontare per riportare l'immagine retinica in aree corrispondenti a quelle dell'occhio controlaterale[80]. Tali movimenti sono definiti vergenze fusionali e si verificano in convergenza, quando l'immagine di uno dei due occhi cade esterna alla fovea, di divergenza quando cade interna alla fovea e verticalità (supravergenza e infravergenza). Quelli in convergenza sono i più sviluppati e sono gli unici ad essere volontari[81].

6.3 Visione binoculare e guida

La visione, dunque, è il frutto del sistema visivo che comprende gli occhi, le vie visive e le vie corticali. Il terzo grado della binocularità è sicuramente importante nella guida dato che, pur diminuendo con la distanza, ci permette di individuare gli spazi, di percepire pericoli periferici e avere un ottimo controllo di tutte le variabili in funzione. La visione binoculare, inoltre, comprende una serie di attività quali l'accomodazione, la convergenza, l'alternanza tra visione periferica e centrale e la motricità oculare che forniscono una serie essenziale di informazioni a patto che i due occhi collaborino in modo confortevole ed equilibrato. In una ricerca condotta dal dipartimento per la ricerca optometrica, si è esaminato un campione di 800 ciclisti amatoriali e da tale ricerca è emerso che circa il 15% dei soggetti non possiede visione binoculare, ovvero quando pedala

sulle strade utilizza un solo occhio, mentre ben il 32% possiede un visione binoculare instabile. Quella parte di soggetti con fragilità binoculare indica una perdita di tutte quelle competenze visuo-spaziali indispensabili per una percezione adeguata. Il dato veramente interessante è che il 98% dei soggetti analizzati non ha consapevolezza di tali limitazioni (scarsa autocritica) e ammette di accelerare l'andatura, in caso di stanchezza, per arrivare prima a casa[6]. Nella guida, la visione binoculare è da considerarsi essenziale, la sua assenza provoca confusione oppure diplopia e per adattarsi a tali situazioni il sistema visivo ricorre a suspenopsia o soppressione. Una binocularità fragile, quindi, comporta sintomi astenopici, riduzione dell'efficienza visiva, diplopia intermittente e di conseguenza la penalizzazione della guida, con rischi per la sicurezza.

Da un'indagine svolta presso il centro Optometrico dell'Università degli studi di Milano Bicocca su 980 persone, con età media di 43 anni, è emerso che il 48% del campione presenta una binocularità nella norma, il 3,19% manifesta una alterazione motoria/sensoriale che determina l'assenza più o meno costante della visione binoculare e il 48% circa presenta una stabilità binoculare fragile o intermittente. Il dato preoccupante è dovuto al fatto che quella fascia di popolazione che presenta una binocularità fragile, che di conseguenza, è soggetta a pericolose soppressioni o sospensioni in caso di non perfette condizioni psicofisiche, crede di possedere un'ottima visione, perché in possesso di un'A.V. pari a 10/10. In realtà, questa parte di popolazione è la più vulnerabile a causa della perdita fisiologica di abilità visive che si può riscontrare soprattutto in alcuni momenti della giornata, ma specialmente è da considerarsi "pericolosa" per l'assoluta inconsapevolezza dei propri limiti e delle proprie carenze visivo-percettive[4].

6.4 Visione binoculare nel rilascio delle patenti nautiche e aeronautiche

L'esame per il rilascio delle patenti di guida e del brevetto di caccia non comprendono la valutazione della visione binoculare, al contrario nel rilascio di patenti nautiche e aeronautiche tale abilità viene presa in considerazione. La legislazione italiana non prevede il rilascio di patenti nautiche se il soggetto presenta una visione binoculare difettosa, senza però definire dei limiti precisi.

L'European Aviation Safety Agency suggerisce i metodi accettabili di conformità e il materiale del regolamento (UE) n 1178/2011 del 3 novembre 2011, e, considerando la visione binoculare sono posti dei limiti, riguardanti eventuali eteroforie:

- ad una distanza di 6 metri eteroforie superiori a:

2.0 diottrie prismatiche di iperforia,
10.0 diottrie prismatiche di esoforia,
8.0 diottrie prismatiche di exoforia

- ad una distanza di 33 cm invece:

1,0 diottrie prismatiche di iperforia,
8.0 diottrie prismatiche di esoforia,
12.0 diottrie prismatiche di exoforia.

I soggetti che superano tali limiti non possono ottenere la licenza di volo, a meno che essi non abbiano riserve fusionali sufficienti a prevenire astenopia e diplopia.
In caso di stereopsi ridotta, o convergenza anormale bisogna verificare che non interferiscano con la visione prossimale e con l'allineamento oculare[27].

Conclusioni

Gli esami visivi per il rilascio delle patenti o brevetti che richiedano specifiche prestazioni, spesso non analizzano tutti gli aspetti della visione, mentre è diffusa l'idea che un'A.V. che rispetti i requisiti indicati, possa garantire la sicurezza nella conduzione di un mezzo o l'uso di un'arma. Tale tendenza è sicuramente rafforzata dalle norme legislative che pongono, in generale, dei limiti ben chiari sui requisiti di A.V., senza fare altrettanto per gli altri aspetti della visione. Come evidenziato da molti studi, l'A.V. non è determinante per il controllo del veicolo e un decremento di quest'ultima non si traduce in una minor sicurezza di guida, ma comporta una difficoltà nel riconoscimento della segnaletica stradale. Il test di A.V. non valuta quindi, le abilità visive necessarie per il sicuro controllo di un veicolo a motore, nonostante molti professionisti, nella pratica quotidiana, si accontentino di un'A.V. sufficiente per rilasciare patenti e brevetti. Il D. Lgs 59 del 2011 risulta essere innovativo per l'inserimento della valutazione di S.A, tempi di recupero dall'abbagliamento, visione crepuscolare, S.C e campo visivo, tutti elementi importantissimi nella conduzione di un mezzo perché forniscono informazioni sulla visione in condizioni reali e variabili della quotidianità. Fatta la norma, però, sarebbe fondamentale applicarla. Troppo spesso l'attuazione dei requisiti richiesti viene lasciata ad iniziative personali di professionisti coscienziosi, ma nella maggior parte dei casi si assiste ad esami che rasentano la banalità. In questi esami vengono completamente dimenticate abilità come la S.C, pensando che un'A.V. buona possa bastare e ignorando invece che la S.C può risultare compromessa malgrado un'ottima A.V. a contrasto massimo. È importante capire che la capacità di vedere un oggetto non è in relazione soltanto alla sua grandezza, ma anche al suo contrasto con lo sfondo che diminuisce per esempio, in condizioni di foschia o nebbia. Altro punto dolente è la totale mancanza, nell'esame per il rilascio di patenti di guida, di valutazione della visione binoculare che, come si è visto, è invece essenziale. La visione binoculare è indispensabile perché permette di individuare gli spazi, di percepire pericoli periferici. Una binocularità fragile, soprattutto in situazioni di stanchezza, comporta sintomi astenopici, riduzione dell'efficienza visiva e diplopia intermittente. Un campo visivo ampio, permette di effettuare meno movimenti con lo sguardo e con la testa (abilità importante nei sorpassi) e permette di localizzare gli oggetti presenti nella periferia, nella gestione degli imprevisti.

Alla luce di questo è importante compiere una valutazione rigorosa del campo visivo ma anche degli effetti negativi che hanno gli elementi distrattori sulla performance di guida. Per rafforzare il messaggio di comportamento di guida corretta, soprattutto tra i giovani è fondamentale rendere le persone consapevoli. Campagne pubblicitarie atte ad informare su come la visione possa influenzare la guida o un incentivo per rendere più frequenti i controlli della vista, potrebbero avere un impatto positivo sulla sicurezza rendendo concreto l'apporto che gli esami specifici hanno sulle diverse abilità. Spesso vengono tralasciati esami come ad esempio la valutazione della visione crepuscolare, non considerando che, con l'oscurità, l'A.V. diminuisce, dal momento che la visione crepuscolare è a carico dei bastoncelli, i quali forniscono valori di A.V piuttosto bassi. Un impatto positivo potrebbe essere fornito dai professionisti addetti al rilascio delle patenti e dei brevetti, dando qualche consiglio al soggetto su come sopperire alle proprie deficienze. Per esempio, un semplice trucco per sviare all'abbagliamento indotto dall'incrocio con auto con fari abbaglianti è quello di guardare verso il basso e il lato destro della strada, in modo che l'immagine luminosa si posizioni su una porzione periferica del campo visivo. Una forte sensibilità all'abbagliamento, infatti, comporta un decremento di visibilità, una riduzione del contrasto degli oggetti e una diminuzione della capacità di rilevazione delle distanze. Molto importante è anche rendere coscienti i giovani sull'effetto che sostanze quali droghe e alcool, o anche semplicemente caffè e farmaci, possano avere sulle loro prestazioni. Molti farmaci, anche quelli cosiddetti "da banco" possono interferire con le abilità necessarie alla conduzione di un mezzo in quanto vanno a diminuire il livello di concentrazione, provocano sonnolenza e rallentano riflessi e reazioni, compromettendo in un attimo la propria incolumità. Altrettanto importante è consapevolizzare le persone più anziane su come alcuni deficit visivi, dovuti all'età, o condizioni patologiche possano influenzare la loro guida, considerando che anche fisicamente hanno limiti e difficoltà. Infine, ma non ultimo per importanza è il ruolo dell'ottico optometrista che può valutare le abilità visive, offrire compensazioni ottiche per ristabilire una visione ottimale, anche abbinato a vision training, e fornire specifici materiali, trattamenti per lenti oftalmiche o LaC e suggerire strategie per gestire al meglio le situazioni d'imprevisto.

Bibliografia

1. Dominga Ortolan, Simone Santacatterina, Renzo Velati. I nuovi test visivi per la patente di guida, manuale operativo per l'ottico optometrista (2011). p 1-20;

3. Cynthia Owsley, Gerald McGwin Jr. Vision and driving, Vision Research. 2010, 50. 2348–2361;

4. Silvio Maffioletti, Renato Pocaterra, Silvia Tavazzi. L'importanza della corretta compensazione visiva per una guida sicura, Gennaio 2009, p 1-132;

5. Commissione Difesa Vista, (2011). Weekend di partenze: viaggi sicuri con occhiali da sole e da vista adeguati;

6. Antonietta Albanese, (2001), Percezione visiva e sicurezza stradale, CUEM editore;

7. Silvio Maffioletti, Occhio alla visione, durante la guida;

8. Circolare n. 300/A/744/13/101/3/3/9 del 25/01/2013 (allegato 1) Gazzetta Ufficiale;

9. Hills BL. Vision, visibility, and perception in driving. Perception, 1980, 9 (2), 183-216;

10. Marron JA, Bailey IL. Visual factors and orientation and mobility performance. American Journal of Optometry and Physiological Optics. 1982, 59(5). 413-426;

12. Articolo 23 (allegato 3), requisiti minimi di idoneità fisica e mentale per la guida di un veicolo a motore, (GU Serie Generale n.99 del 30/04/2011), Gazzetta Ufficiale;

13. Nicola Pescosolido, Alessandro Farini, Giuseppe Migliori. Proposta di sequenza di test visivi per rilascio o rinnovo della Patente di Guida, 2011;

14. Allegato I (articolo 27), requisiti d'idoneità. Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale, serie generale n- 222;

15. Regolamento di attuazione dell'articolo 65 del decreto legislativo 18 luglio 2005, n. 171, recante il codice della nautica da diporto. (GU Serie Generale n.222 del 22-9-2008 - Suppl. Ordinario n. 223), Gazzetta Ufficiale;

18. Gazzetta Ufficiale 26 giugno 1931, n. 146, R.D. 18 giugno 1931, n. 773: Approvazione del testo unico delle leggi di pubblica sicurezza;

19. NHTSA (National Highway traffic safety administration) in cooperation with the American Association of Motor Vehicle Administrators. Driver fitness Medical Guidelines, (2009), 33-36;

20. Schieber 2006, Ben J. Schlorholtz, BA. Examining the differential aging of the ambient and focal visual system: an approach using the peripheral detection task during simulated driving. 2008, 15-18;

21. Higgins KE, Wood J, Tait A. Vision and Driving: Selective Effect of Optical Blur on Different Driving Tasks. Human Factors. 1998, 40(2). 224-232;

22. Decreto del presidente della repubblica 16 aprile 2013, n.68, Regolamento recante modifiche all'articolo 330 del decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495, in materia di commissioni mediche locali. (GU Serie Generale n.141 del 18-6-2013);

24. D.M. 28-4-1998, Requisiti psicofisici minimi per il rilascio ed il rinnovo dell'autorizzazione al porto di fucile per uso di caccia e al porto d'armi per uso difesa personale. Pubblicato nella Gazz. Uff. 22 giugno 1998, n. 143;

25. Decreto n. 277/11, Ministro della difesa, direzione generale per il personale militare il direttore generale di concerto con il comandante generale del corpo delle capitanerie di porto, dicembre 2011;

26. Regolamento N. 1178/2011 della commissione del 3 novembre 2011 che stabilisce i requisiti tecnici e le procedure amministrative relativamente agli equipaggi dell'aviazione civile ai sensi del regolamento (CE) n. 216/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio, Gazzetta Ufficiale Unione Europea, Reg_UE_1178;

27. Normativa EASA (European Aviation Safety Agency), metodi accettabili di rispondenza e materiali guida ai requisiti PART-MED;

28. Rossetti A, Gheller P, Manuale di Optometria e Contattologia, Zanichelli editore;

30. Andrea Perdicchi, Donatella Caprino, Santi Maria Recupero. Il campo visivo: passato, presente e futuro;

33. Ammann F, Klein D, Franceschetti A. Genetic and epidemiological investigation of pigmentary degeneration of the retina and allied disorders in Switzerland. Journal of the Neurological Sciences. 1965, 2(2).183–196;

34. Johnson CA, Keltner JL. Incidence of Visual Field Loss in 20,000 Eyes and Its Relationship to Driving Performance. Arch Ophthalmol. 1983,101(3). 371-375;

35. McGwin G Jr, Xie A, Mays A, Joiner W, DeCarlo DK, Hall TA, Owsley C. Visual field defects and the risk of motor vehicle collisions among patients with glaucoma, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2005, 46(12). 4437-4441;

36. Lockhart J, Boyle L Ng, Wilkinson M. Driving With Visual Field Loss: An Exploratory Simulation Study, Technical Report, NHTSA, 2008;

37. Bowers A, Peli E, Elgin J, McGwin G. Jr, Owsley C. On-Road Driving with Moderate Visual Field Loss. Optometry & Vision Science. 2005, 82(8). 657-67;

38. Coeckelbergh TR, Brouwer WH, Cornelissen FW, Van Wolffelaar P, Kooijman AC. The effect of visual field defects on driving performance: a driving simulator study. Arch Ophthalmol. 2002,120(11).1509-16;

39. Donges E. A two level model of driver steering behavior. Human Factors. 1978, 20(6). 691-707;

40. Owsley C, Ball K, McGwin G. Jr, Sloane ME, Roenker DL, White MF, Overley ET. Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. JAMA. 1998, 279(14).1083-8;

41. Wood JM, Chaparro A, Lacherez P, Hickson L. Useful field of view predicts driving in the presence of distracters. Optometry and Vision Science. 2012, 89(4). 373-381;

42. Klauer SG, Dingus TA, Neale VL, Sudweeks JD, and Ramsey DJ. The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100- Car Naturalistic Driving Study Data. National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA) 2006;

43. Pescosolido N. Guida automobilistica ed efficienza visiva. Fabiano editore 2001, p. 127-198;

44. Kandel ER, Schwartz JH. 1988. Principi di neuroscienze, Ambrosiana, Milano;

46- Haymes SA, Roberts KF, Cruess AF, Nicolela MT, LeBlanc RP, Ramsey MS, Chauhan BC, Artes PH. The Letter Contrast Sensitivity Test: Clinical Evaluationof a New Design. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2006, 47(6). 2739-2745;

47. Elliott DB, Sanderson K, Conkey A. The reliability of the Pelli-Robson contrast sensitivity chart, Ophthalmic and Physiological Optics, Ophthalmic Physiol Opt. 1990, 10(1). 21-4;

48. Thomas I. Porter, OD, FAAO. Improving Low Vision Performance by Enhancing Contrast, The vision council;

49. LJ van Rijn. New standards for the visual functions of drivers, Report of the Eyesight Working Group, Brussels, May 2005;

50. Owsley C, Stalvey BT, Wells J, Sloane ME, McGwin G. Jr. Visual risk factors for crash involvement in older drivers with cataract, Arch Ophthalmol. 2001, 119(6), 881-887;

51. Owsley C, Stalvey B, Wells J, Sloane ME. Older drivers and cataract: driving habits and crash risk. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 1999, 54 (4). M203-M211;

52. Ginsburg AP, Evans DW, Sekule R, Harp SA. Contrast sensitivity predicts pilots' performance in aircraft simulators. American Journal of Optometry and Physiological Optics, 1982, 59(1). 105-109;

53. Melvin R. O'Neal, OD, Ph.D, Major, Robert E. Miller II, OD, MS, Lt Co. Further Investigation of Contrast Sensitivity and Visual Acuity in Pilot Detection of Aircraft. 1988;

54. Bachman WG, Egenmaier W. Assessment of cycloplegic effects on the vistech contrast sensitivity test in Army aviator candidates, Optom Vis Sci. 1991, 68(6). 452-5;

57. Selig Hecht, Charles Haigand, Aurin M.Chase. The influence of light adaptation on subsequent dark adaptation of the eye, 1937. 1-20;

58. Marco Onorati, Uno sguardo alla visione C.O.D.A.S.; Centro Osservazione e Divulgazione Astronomica Siracusa, 2007;

59. Retinitis pigmentosa, National library of Medicine, PubMed Health;

60. Allegato A alla circolare del 25/07/2011 n. 0017798, decreto legislativo n. 59 del 18 aprile 2011;

64. Wolfe, JM, Kluender, KR et al. (2007). Sensazione e Percezione. Zanichelli;

65. Arthur Pape. The Aviation Colour Perception Standard. 2010. p 1-13;

66. Babizhayev MA. Glare disability and driving safety, Ophthalmic Res. 2003, 35(1). 19-25;

67. Brabyn JA, Schneck ME, Lott LA, Haegerström-Portnoy G. Night driving self-restriction: vision function and gender differences. Optom. Vis. Sci. 2005, 82(8). 755-64;

68. Jason Clark. Nighttime Driving Evaluation of the Effects of Disability and Discomfort Glare from Various Headlamps under Low and High Light Adaptation Levels, 2004;

69. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). 2004 Annual Assessment. Motor Vehicle Traffic Crash Fatality Counts and Injury Estimates for 2004. August 2005: DOT HS 809923;

70. Sullivan JM, Flannagan MJ. Determining the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios. Accid Anal Prev. 2007, 39(3). 638-47;

71. Wood JM, Owens DA. Standard Measures of Visual Acuity Do Not Predict Drivers' Recognition Performance Under Day or Night Conditions. Optometry and Vision Science, 2005, 82(8). 698-705;

72. H. W. Leibowitz, C. Shupert Rodemer, J. Dichgans. The independence of dynamic spatial orientation from luminance and refractive error. Perception & Psychophysics. 1979, 25(2). 75-79;

73. Wood J, Chaparro A, Carberry T, Chu BS. Effect of simulated visual impairment on nighttime driving performance. Optometry & Vision Science, 2010, 87(6). 379-386.

74. Silvio Mafioletti, La visione binoculare, una funzione appresa;

76. M.G.Bucci (2001), Oftalmologia, Società editrice Universo;

80. Etero forie: un approccio tecnico e pratico - Paolo Facchin;

81. La visione binoculare, quando le immagini sono singole o doppie, SOI Società Oftalmologica Italiana;

82. Haegerstrom-Portnoy G, Schneck ME, Lott LA, Brabyn JA, The relation between visual acuity and other spatial vision measures, Optometry & Vision Science. 2000, 77(12). 653-662.

Sitografia

2. DOE Departament of the environment, Northen Ireland's road safety strategy to 2020, www.doeni.gov.uk;

11. Art. 119. Requisiti fisici e psichici per il conseguimento della patente di guida. (Testo applicabile dal 19 gennaio 2013), http://www.codicestradainfantino.it/codice%20articoli/Art.119.htm;

16. ENAC (ente nazionale aviazione civile) http://www.enac.gov.it/la_regolazione_per_la_sicurezza/licenze_del_personale/personale_di_volo/piloti/index.html

17. Sintesi legislativa sulle Armi a cura di ActionArms, www.actionarms.it;

23. Capitaneria di porto, Guardia Costiera,Informazioni e mudulistiche sulle patenti nautiche, http://www.guardiacostiera.it/diporto/cosafareper.cfm?argomento=4;

29. Umberto Benelli, La clinica oculistica Virtuale, Il campo visivo, www.oculistica.info/Box/campovisivo.htm;

31. C.O.I, compagnia ottica italiana, CAMPIMETRO MANUALE, http://www.coivision.com;

32. MedMedicine, Esami strumentali: Perimetria Computerizzata (campo visivo), medmedicine.it/articoli/61-oftalmologia/perimetria-campo-visivo;

45. Pisavisionlab, Acuità visiva e sensibilità al contrasto, http://win.pisavisionlab.org/teaching/burr/CorsoArrighi/ElementiPercezione/ElePerc_Cap3.ppt;

55. De Feo Giulia, De Lisa Maddalena, Grimaldi Fortunato, Izzo Giulia, Plaitano Carmen, Risi Chiara, Russo Enrico, La bellezza è negli occhi di chi la guarda, appunti di oftalmologia clinica, http://www.mediciunisa.it/oftalmonuovo.pdf;

56. Dott. Siravoduilio, 2007, VISIONE CREPUSCOLARE, http://www.forumsalute.it/community/forum_93_parola_al_medico/thrd_160244_visione_crepuscolare_1.html;

61. Abbagliamento e compito visivo, http://www.krayms.it/krayms-light/abbagliamento/;

62. Light sensitivity – photophobia, http://www.rnib.org.uk/eyehealth/eyeconditions/eyeconditionsdn/Pages/photophobia.aspx;

63.Visione del colore, capitolo 5, http://www.inoa.it/home/farini/Didattica_files/lezione5_visione_colore.pdf

77. Apparato Innervativo, http://www.oftalmologiuniversitari.it/anatomia%20e%20fisiologia/apparato%20innervativo.doc;

78. Elisabetta Groppo, Nervo ottico e vie ottiche, https://www.google.it/#q=Nervo+ottico+e+vie+ottiche%2C+Elisabetta+Groppo;

79. Ipsia Galvani, Visione Binoculare, www.visus01.altervista.org/files/motilitaoculare.ppt;