

**Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di
Comunicazione**



Candidato:

FABRIZIO BOI

Il Cinema Stereoscopico

Un'analisi prestazionale della cinepresa di V. Casiraghi

Relatori:

VITTORIO MARCHIS, BARTOLOMEO MONTRUCCHIO

2019

preambolo

Missouri (USA), 1888, Almon Stowger è un reduce della guerra civile americana che si è reinventato impresario di pompe funebri, ma gli affari vanno tremendamente male. L'intera cittadina di pochi abitanti preferisce utilizzare il servizio di pompe funebri del suo rivale. Almon oberato di debiti decide di abbassare i prezzi per far ripartire il mercato, ma nulla, tutto inutile, il concorrente sembra imbattibile. L'impresario decide di fare un'ultimo tentativo di indagine, chiama al telefono il centralino per essere messo in contatto con la Stowger Company. L'arcano viene svelato: a lavorare come centralino c'era la moglie del concorrente che mandava tutti i possibili clienti all'azienda del marito. Stowger si ingegnò e brevettò il commutatore automatico. Senza dubbio i suoi affari ne giovarono.

La storia dell'ingegneria è piena di figure come Stowger, uomini ordinari che dedicano tanto del loro tempo per risolvere un problema che sembra insolubile. Vitale Casiraghi è una di queste figure e in questa tesi indagheremo quest'uomo soffermandoci su una delle sue invenzioni più misteriose. Il nostro obiettivo è quello di svelare il funzionamento di una cinepresa appartenente alla collezione del Museo del Cinema che ha molto da raccontare.

Le pagine che seguono sono frutto di uno studio svolto nel corso di circa un anno (da marzo 2018 a febbraio 2019) grazie alla collaborazione tra Politecnico di Torino, Museo del Cinema e ASTUT. Abbiamo deciso di studiare la macchina analizzando i vari brevetti che Casiraghi collezionò negli anni, approfondendo il mondo del colore. In seguito, dopo aver ipotizzato che la macchina potesse essere un prototipo di macchina stereoscopica, abbiamo illustrato la tecnica del 3D e la percezione umana della tridimensionalità.

Gli ultimi due capitoli sono un'analisi della geometria ottica dell'obiettivo della cinepresa seguita da un excursus sulle tecnologie oggi esistenti per riprodurre la tecnologia stereoscopica senza l'utilizzo di occhiali speciali, come Vitale Casiraghi aveva provato a fare nel lontano 1953.

Questa tesi vuole essere un tributo a tutti gli Stowger, i Meucci e i Casiraghi che con la loro testardaggine e passione fungono da motori per l'evoluzione umana.

capitolo 1 – la macchina	6
1.1 INTRODUZIONE.....	6
1.2 BIOGRAFIA.....	7
1.3 LA CINEPRESA.....	10
1.4 RESTAURO	12
1.5 IPOTESI SULLA CAMERA	13
1.6 METODOLOGIE D'ANALISI	16
capitolo 2 – storia colore al cinema	18
2.1 INTRODUZIONE.....	18
2.2 FUNZIONAMENTO OCCHIO	19
2.3 SINTESI ADDITIVA E SOTTRATTIVA.....	22
2.4 FUNZIONAMENTO PELLICOLA	24
2.5 PANCROMATICITA' ED ORTOCROMATICITA'.....	25
2.6 EVOLUZIONE DEL COLORE AL CINEMA.....	27
2.7 CONCLUSIONI	32
capitolo 3 – Casiraghi e il colore	33
3.1 INTRODUZIONE.....	33
3.2 I BREVETTI DELLA FASE PRE-FRANCITA.....	34
3.3 FASE FRANCITA.....	40
3.4 FASE ITALIANA.....	48
3.5 CONCLUSIONI: PROBLEMATICHE RELATIVE ALLA RAPPRESENTAZIONE DEL COLORE.....	52
capitolo 4 – principi del 3D	53
4.1 INTRODUZIONE.....	53
4.2 STEREOSCOPIA COME FUSIONE DI DUE IMMAGINI	54
4.3 MODALITA MONOCULARI DI PERCEZIONE DELLO SPAZIO	57
4.4 STEREOPSI E OROPTERO	59
4.5 LA STEREOPSI INDOTTA IN MANIERA ARTIFICIALE	61
capitolo 5 – la tecnica del 3D	63

5.1 INTRODUZIONE.....	63
5.2 INGRANDIMENTO DI IMMAGINE E DI OGGETTO.....	64
5.3 PARALLASSE.....	65
5.4 DISTANZA INTERFOCALE.....	71
5.5 CONVERGENZA.....	73
5.6 METODI DI VISUALIZZAZIONE DELLE RIPRESE STEREO SCOPICHE.....	74
5.7 TECNICHE BASATE SUL COLORE.....	75
5.8 TECNICHE BASATE SULLA TEMPORIZZAZIONE.....	76
5.9 TECNICHE BASATE SULLA POLARIZZAZIONE.....	78
5.10 TECNICHE AUTOSTEREO SCOPICHE.....	81
capitolo 6 – analisi macchina.....	84
6.1 INTRODUZIONE.....	84
6.2 MISURE.....	85
6.3 SIMULAZIONE.....	93
6.4 CONCLUSIONI SUL FUNZIONAMENTO.....	96
6.5 UN 3D DEL GENERE E' POSSIBILE?.....	99
capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere.....	102
7.1 INTRODUZIONE.....	102
7.2 CINEMA AUTOSTEREO SCOPICO (MIT).....	104
7.3 DISPLAY A CAMPO LUMINOSO (HOLOVIZIO).....	110
7.4 SCHERMI A CAMPO LUMINOSO PER IL CINEMA.....	112
7.5 FOVOGRAFIA.....	113
7.6 FOTOGRAFIA PLENOTTICA.....	117
conclusioni.....	120
fonti bibliografiche e sitografia.....	121
fonti delle immagini.....	125
ringraziamenti.....	128

capitolo 1 – la macchina

1.1 INTRODUZIONE

Nella storia dell'evoluzione tecnologica spesso accade che si arrivi al risultato tramite una serie di insuccessi e fallimenti che permettono di evidenziare le lacune del progetto e di porre un rimedio. Anche nel caso della storia dell'evoluzione del mezzo cinematografico è accaduto ciò, numerosi sono stati i tentativi di creare prima la cinepresa, poi la prima che riproducesse i colori, poi quella che registrasse anche il sonoro e così via; in molte di queste macchine imperfette però sono presenti delle intuizioni che anticipano i tempi e parlano direttamente al futuro.

L'oggetto preso in esame in questo lavoro è uno di questi prototipi imperfetti, uno di questi "motori" dell'innovazione che hanno tanto da raccontare.

capitolo 1 – la macchina

Dunque, ai fini della nostra indagine tecnologica introduciamo la figura di Vitale Casiraghi, il suo ideatore, e descriviamo nel dettaglio la cinepresa con i dati forniti dal Museo del Cinema e dal Centro di Conservazione e Restauro di Venaria Reale illustrando infine le metodologie d'indagine scelte e le relative motivazioni.

1.2 BIOGRAFIA¹

Iniziamo dalla storia dell'inventore: Vitale Casiraghi nasce ad Osnago, in provincia di Lecco, ma passa la sua gioventù a Milano, iniziando ben presto a lavorare come meccanico. Di questo primissimo periodo sappiamo poco, tuttavia agli archivi risulta un brevetto, depositato a Milano il 15 febbraio 1919 dal titolo *Dispositivo per comandare automaticamente lo scatto degli otturatori degli apparecchi fotografici* (numero d'archivio 172694).



FIGURA 1_VITALE CASIRAGHI NEL 1936

Nel 1920 emigra in Francia, a Parigi, depositando il suo primo brevetto il 12 Marzo 1925 col titolo "Appareil de photo-cinescopie", in questo periodo iniziano i suoi studi sul colore al cinema e vengono depositate numerose idee a riguardo,

¹ Dati raccolti dagli appunti e studi di Maria Adriana Prolo facenti parte della collezione Casiraghi.

capitolo 1 – la macchina

successivamente si mette in proprio e l'8 Giugno 1931 fonda a Parigi la Societè Cinematografique con un brevetto di cinematografia "a colori fisici naturali".

Nel 1932 fonda la società Francita (Societè des Films en Couleurs Naturelles Francita), dove lavorerà come capotecnico. Il metodo Francita fu pensato assieme a M. Maurice Velle, utilizzava una camera speciale con due lenti; dietro di esse vi erano due specchi posizionati a 45 gradi, che mandavano due immagini 8 x 12mm, sopra e sotto il centro della pellicola².

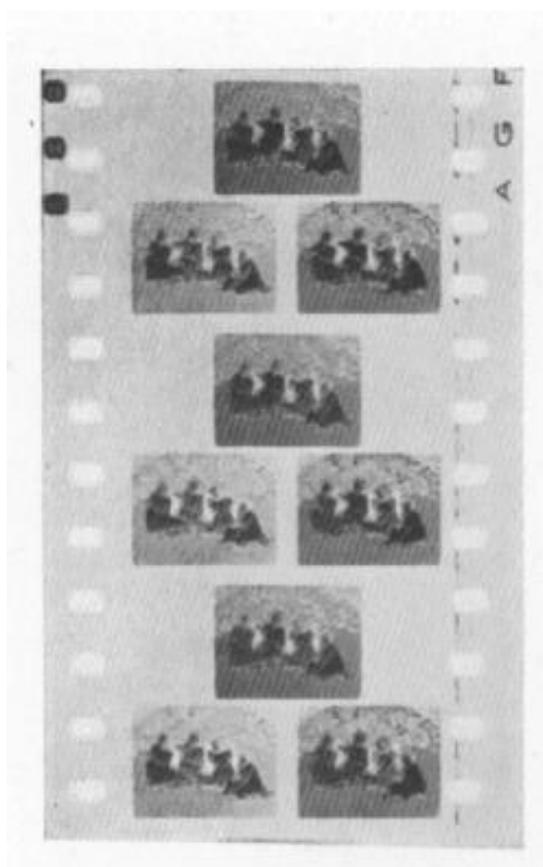


FIGURA 2_NEGATIVO FRANCITA

La pellicola, in seguito, veniva spostata poi di mezzo frame per mettere una terza immagine nello spazio vuoto. Un disco con dei filtri ruotava in sincrono con queste operazioni in modo tale che le tre immagini venivano fatte passare attraverso i tre filtri rosso, verde e blu, tipici della tricromia. La velocità dell'operazione era di 48 fps. Il proiettore utilizzava tre lenti per unificare le tre immagini e sovrapporle sullo

² H. Mario Raimondo Souto, *Motion Picture Photography: A History, 1891-1963* pag.212, McFarland&Company Inc. Publishers 2007.

capitolo 1 – la macchina

schermo. Questo complesso sistema fu successivamente migliorato cambiando la disposizione delle immagini sulla pellicola, facendo in modo che togliendo lo specchio si evitassero effetti involontari di posizione errata dell'immagine. Con questa tecnologia nel 1935 fu girato *La Terre qui meurt* da Jean Vallée, l'incoronazione di Giorgio VI del Regno Unito nel 1937 e addirittura uno dei primi film di Jacques Tati dal nome *Jour de fête*.

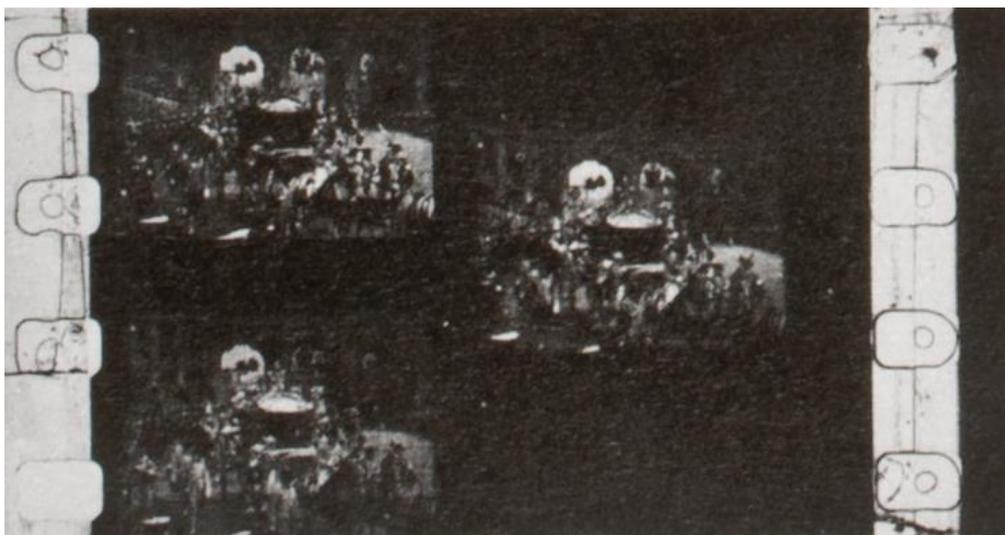


FIGURA 3_INCORONAZIONE RE GIORGIO VI RIPRESA COL METODO FRANCIATA

Nel 1933 rientra in Italia e si stabilisce a Camogli (GE), dove continua i suoi studi e le ricerche scientifiche per studiare un nuovo procedimento che viene presentato nel 1935 al Ministero dello Spettacolo a Roma, in questo periodo viene intervistato da numerose testate giornalistiche³, tra cui *Il Corriere della Sera e Cinema*, la testata diretta da Vittorio Mussolini; in queste interviste descrive i suoi brevetti per creare riprese a colori. Nel 1938 si reca negli USA presentando lo stesso procedimento e riuscendo a girare qualche cortometraggio, in questi anni stringe un rapporto d'amicizia con l'ingegner Ugo Veniero d'Annunzio (il figlio di Gabriele d'Annunzio).

Dal 1940 inizia a studiare un modo per applicare le sue tecnologie sul colore al nascente mondo della televisione, ma i suoi lavori, inviati al ministero a Roma non ricevono risposta: siamo nel bel mezzo della II Guerra Mondiale.

³ Queste interviste verranno ampiamente approfondite nel capitolo 3.

capitolo 1 – la macchina

Nel 1947 fonda la società *Fisicolor* e applicando un procedimento di sua invenzione gira un breve film che verrà proiettato al cinema Grattacielo a Genova, in questi anni continuerà a depositare brevetti, terminando nel 1954, quando sposterà la sua attenzione su argomenti come la prevenzione della senilità nell'uomo e la fisica nucleare.

Morì a Genova il 6 Novembre 1968.

1.3 LA CINEPRESA

Il Museo del Cinema di Torino possiede due macchinari attribuibili a Vitale Casiraghi, essi fanno parte della donazione Barbagelata datata 1975 e sono un proiettore e una cinepresa.

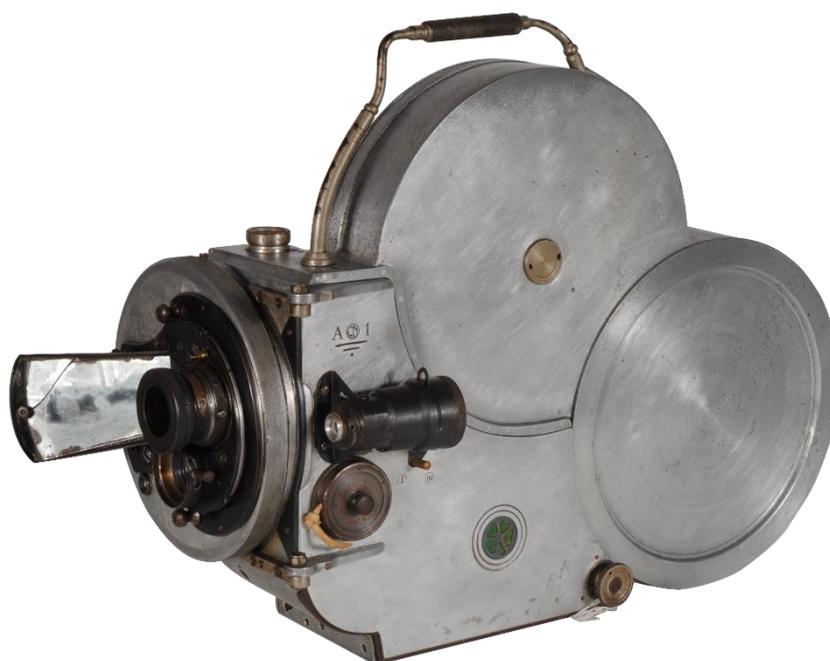


FIGURA 4_CINEPRESA CASIRAGHI

La persona che ha fatto la donazione (probabilmente la figlia di Vitale Casiraghi) ha dichiarato che i due oggetti implementavano la tecnologia di ripresa a colori e il proiettore serviva quindi a riprodurre il materiale girato con la cinepresa.

L'oggetto del nostro studio è alto 38cm, largo 22cm e lungo 56cm, presenta due vani separati, uno per ospitare la pellicola vergine e l'altro per la pellicola esposta, sulla

capitolo 1 – la macchina

sinistra presenta un mirino per l'operatore e una cordicella retrattile che veniva utilizzata per misurare con precisione le distanze, in modo da valutare la corretta messa a fuoco. Sulla destra presenta una leva che serviva al macchinista per poter effettuare i movimenti di panoramica e presenta un'iscrizione che reca scritto: "Ap. da ripresa plurisistema in film C.V." (dove C.V. sta per Casiraghi Vitale), inoltre presenta due prese di forma esagonale, destinate all'alimentazione.

Nella parte frontale presenta una ghiera, detta in gergo cinematografico *revolver*, che è possibile ruotare; le macchine dell'epoca avevano la possibilità di usare il revolver per montare diversi obiettivi. Infatti quando il direttore della fotografia riteneva necessario cambiare focale, bastava girare la ghiera, velocizzando di gran lunga i tempi⁴. Casiraghi adatta questo sistema per creare una cinepresa che possa riprendere sia tradizionalmente sia con un'altra tecnica a noi ignota; da una parte abbiamo un obiettivo semplice e ruotando troviamo un obiettivo che presenta due filtri, frontalmente uno verde e un altro di colore rosso posizionato su un buco ricavato dal bordo del cilindro dell'obiettivo, sul lato troviamo uno specchio rivolto verso il filtro rosso⁵.



FIGURA 5_PROIETTORE CASIRAGHI

⁴ E' possibile notare ciò in molte cineprese in formato Super8 degli anni 60 e 70.

⁵ Una descrizione del sistema è presente in Figura 7.

capitolo 1 – la macchina

All'interno vi è un meccanismo di pulegge e ingranaggi che serve a trascinare la pellicola 35mm verso l'area dove verrà impressionata.

1.4 RESTAURO

Nonostante la cinepresa fosse in buone condizioni, per poter procedere con le analisi è stato necessario far eseguire un restauro, d'accordo col Museo del Cinema, ci siamo rivolti al Centro di Conservazione e Restauro di Venaria Reale che da anni collabora con il museo.

Il Centro ha rilevato la frattura di una leva, l'ossidazione dei metalli (una lega di alluminio e ferro), dei depositi superficiali compattati dal tempo e la frattura dello specchio e di uno dei due filtri. A Venaria hanno provveduto a fare una documentazione fotografica, hanno pulito la macchina, hanno smontato e rifatto la leva danneggiata, hanno proceduto con la sostituzione dello specchio e hanno steso un materiale protettivo, il costo totale dell'operazione è stato di 600€.

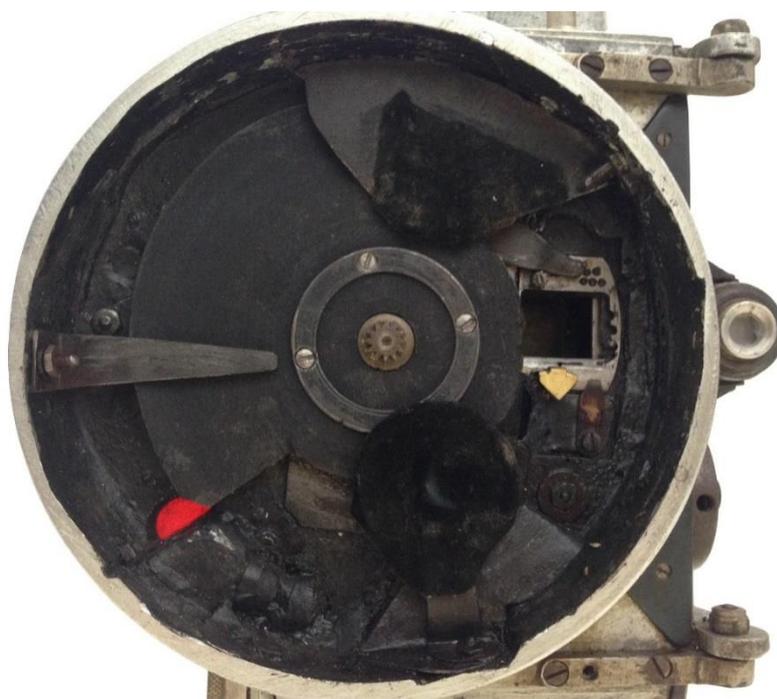


FIGURA 6_FRONTALE DELLA MACCHINA (SI NOTA L'OTTURATORE FATTO DI CARTONE NERO)

Dal restauro è emerso che la macchina ha numerosi pezzi prodotti artigianalmente: l'otturatore interno infatti è fatto di cartone, all'interno dell'obiettivo ci sono numerosi pezzi di nastro adesivo da elettricista per fare in modo che la luce non entri all'interno del vano pellicola. Si evince inoltre che il mirino è stato aggiunto

capitolo 1 – la macchina

successivamente in sostituzione a quello originale: posteriormente alla guida della pellicola infatti è presente un prisma, che servirebbe per far rimbalzare l'immagine sul mirino; tuttavia Casiraghi ha messo uno sportellino che impedisce alla luce di passare, quindi il prisma risulta inutilizzabile.

1.5 IPOTESI SULLA CAMERA

Osservando l'oggetto ci sono vari indizi che fanno dubitare che la funzionalità della macchina fosse unicamente la ripresa a colori, partiamo studiando la geometria della stessa: l'immagine che entra nel filtro verde passa direttamente attraverso l'obiettivo, mentre l'immagine filtrata da quello rosso entra dopo essere rimbalzata su uno specchio esterno. Ciò significa che le due immagini sono prese da due punti leggermente diversi; se si provasse a implementare una tecnologia per il colore in questo modo, le riprese sarebbero caratterizzate da un effetto di parallasse spaziale, che diventa molto evidente se l'oggetto ripreso è vicino alla camera⁶. Inoltre, se si comparano il proiettore e la cinepresa ci si accorge inoltre che i due oggetti non sono



FIGURA 7 _DETTAGLIO SU OBIETTIVO E SPECCHIO DELLA CINEPRESA, DOVE È POSSIBILE NOTARE IL FLTRO VERDE FRONTALE E QUELLO ROSSO LATERALE.

⁶ In un fotogramma affetto da problemi di parallasse spaziale le due sottoimmagini rosse e verdi non si sovrappongono bene e sono distinguibili, creando un effetto di frange simile a quello descritto in Figura 18.

capitolo 1 – la macchina

compatibili; il proiettore infatti, frontalmente alla lampada, presenta tre filtri, uno rosso, uno verde e uno blu⁷, la cinepresa invece ne presenta solamente uno rosso e uno verde. Un ulteriore conferma che la cinepresa sembra essere qualcosa di diverso la vediamo nello specchio (vedi figura 7), che deve avere uno scopo ben preciso.

E' naturale supporre che la cinepresa sia un dispositivo atto a simulare la stereoscopia. Il meccanismo sembra essere semplice: tutto ciò che si trova frontalmente alla camera viene impressionato direttamente passando per il filtro verde, posto in posizione anteriore; grazie alla posizione dello specchio però la cinepresa riesce a intercettare un'immagine laterale, quest'immagine passa per il filtro rosso posto lateralmente all'obiettivo, queste due immagini, sfasate di un certo numero di gradi, se proiettate in maniera separata per l'occhio destro e quello sinistro possono creare l'illusione della stereoscopia.

A riprova di ciò si può analizzare uno dei brevetti che V. Casiraghi depositò negli anni in cui fu presente in Italia: il brevetto datato 25 Maggio 1953, dove viene descritto un complesso ottico prismatico per "films a colori in rilievo".

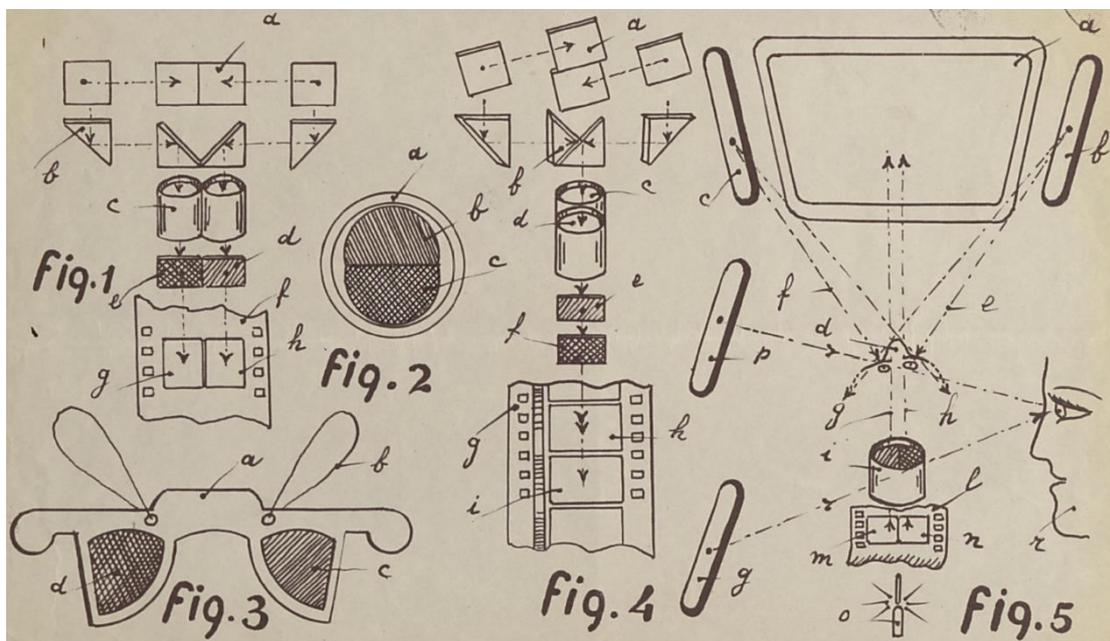


FIGURA 8_ILLUSTRAZIONI BREVETTO 25 MAGGIO 1953

⁷ Figura 26 capitolo 3.

capitolo 1 – la macchina

Il brevetto descrive 5 diverse invenzioni:

- un sistema di ripresa del 3D con i due fotogrammi L e R che vengono registrati all'interno dello stesso fotogramma da 4 perforazioni;
- un obiettivo da porre sui proiettori convenzionali in modo da poter riprodurre il 3D;
- un tipo di occhiali per poter vedere il film;
- un sistema alternativo di ripresa del 3D con le due immagini L e R disposte in colonna, occupando per ogni fotogramma 6 o 8 perforazioni in verticale;
- un sistema di riproduzione del 3D che funziona anche senza occhialini.

Procediamo ad analizzarle una alla volta:

La prima è molto interessante: Casiraghi descrive una macchina che impressiona due immagini in stereoscopia nella seguente maniera: al primo posto della catena vi è un prisma che devia l'immagine in due sotto-immagini, successivamente la luce viene filtrata da due filtri rosso e verde posti sullo stesso asse e infine l'immagine viene impressa sulla pellicola in due sotto-immagini sulla stessa riga (comportando quindi una compressione dell'immagine). La seconda è un obiettivo composto da due gruppi di lenti, uno munito di un filtro rosso, l'altro di uno verde, in modo tale che le due immagini vadano poi a sovrapporsi sullo schermo, grazie a questo obiettivo si può adattare un proiettore tradizionale per uno spettacolo stereoscopico.

La terza è un tipo di occhiali grazie ai quali il pubblico riesce a vedere il film, sono dotati di elastici e sono progettati per essere ribaltabili sulla fronte negli interalli dello spettacolo, in modo da dare una pausa allo spettatore (gli occhiali olografici infatti appesantiscono notevolmente e affaticano la vista a lungo andare).

La quarta invenzione è una variazione della prima, l'ordine prisma-filtro è lo stesso, ma i due oggetti sono posti in verticale, questo significa che la pellicola sarà composta da una sequenza di immagini L e R alternate in verticale alte quattro perforazioni (non più compresse come prima), le immagini ovviamente andranno proiettate in maniera alternata sullo schermo, creando l'illusione del 3d grazie al fenomeno della persistenza retinica.

capitolo 1 – la macchina

La quinta invenzione è spiegata in maniera approssimativa, abbiamo uno schermo normale ai lati del quale troviamo altri due schermi capaci di riflettere la luce polarizzata, uno ha il compito di far rimbalzare la luce polarizzata rossa e l'altro quella verde, questi due convergono verso gli occhi del pubblico in modo tale che però la luce rossa sia visibile solo da un occhio e quella verde solo dall'altro. La sorgente luminosa proietta l'immagine della pellicola passando per l'obiettivo descritto in precedenza, grazie agli schermi inclinati che fanno rimbalzare l'immagine il quadro rosso sarà visibile solo dall'occhio destro e quello verde solo da quello sinistro. Questa idea è la più fumosa e la più difficile da realizzare, infatti per come è descritto, questo sistema sarebbe capace di simulare il 3D per un solo spettatore in sala, quello seduto nel punto di convergenza perfetto tra i due schermi; tutti gli altri spettatori non avranno una perfetta visione in sala per colpa di eventuali problemi di posizione. In aggiunta a ciò, Casiraghi si aspetta che il naso riesca a schermare la visione, in modo tale che ciò che deve vedere l'occhio destro non venga visto dal sinistro e viceversa; ciò non è generalizzabile, dipende infatti dalla persona e dalla forma del suo naso.

Le somiglianze tra la cinepresa presente in archivio e le tecnologie descritte nel brevetto sono enormi, il prisma descritto dal brevetto ha un parallelo nello specchio esterno presente nella macchina, inoltre, nella cinepresa i filtri sono posti alla stessa altezza (proprio come nella tecnologia 1 del brevetto), l'unica differenza è che nel brevetto ci sono due prismi, uno per ogni canale, coi filtri posti sullo stesso asse, nella macchina che abbiamo invece c'è solo uno specchio e i filtri sono perpendicolari. Inoltre tutto il brevetto cerca di illustrare dei metodi per implementare il 3D a partire da cineprese, proiettori e schermi già esistenti, cercando di adattare le macchine che già esistono allo scopo; esattamente come la cinepresa presente nel Museo, che è capace di effettuare un doppio tipo di ripresa.

1.6 METODOLOGIE D'ANALISI

Per poter verificare l'effettivo funzionamento della cinepresa si è pensato all'inizio di procedere con l'impressione di pellicola cinematografica e l'analisi dei fotogrammi ottenuti, ma si è preferito utilizzare altre modalità per due motivi:

capitolo 1 – la macchina

- La cinepresa ha un valore assicurativo di 15000€ essendo un pezzo unico al mondo, per poterla mettere in funzione occorre alimentarla ed è rischioso farlo senza sapere i corretti voltaggi da utilizzare.
- Il costo della pellicola è veramente alto, le aziende che la producono sono veramente poche e richiedono che venga fatto un ordine minimo, aggiungendo i costi di spedizione e stampa il preventivo, richiesto all'azienda *Augustus Color* di Roma, era di 400€.

Le metodologie utilizzate per l'analisi sono quindi state differenti; ci si è basati sull'analisi dei vari brevetti di Vitale Casiraghi e su una simulazione del funzionamento della camera a partire da misurazioni sulla stessa.

Per confutare l'ipotesi che la macchina servisse per riprendere a colori, dedicheremo i capitoli successivi a descrivere i concetti che stanno dietro alla ripresa a colori, le tecnologie presenti per implementare questa tecnologia negli stessi anni e i brevetti di Casiraghi in questo ambito.

capitolo 2 – storia colore al cinema

2.1 INTRODUZIONE

La biomimesi è lo studio di modelli, sistemi e elementi naturali con l'obiettivo di risolvere problemi che l'essere umano ritiene essere complessi, l'etimologia illustra perfettamente il concetto, deriva da βίος (*bios*), vita, e μίμησις (*mīmēsis*), imitazione. Gli esseri umani hanno imitato la vita alla ricerca di risposte ai propri problemi da sempre: nel Rinascimento Leonardo Da Vinci, studiando il volo degli uccelli ideò le sue macchine volanti.

L'occhio è uno di questi meccanismi che la natura ha ideato e che l'uomo ha da sempre indagato con curiosità per creare qualcosa che abbia le stesse potenzialità,

capitolo 2 – storia colore al cinema

gli studi scientifici ancora oggi infatti scoprono nuove sottigliezze di questo affascinante organo.

In questo capitolo descriveremo una piccola parte delle immense funzionalità dell'occhio, indagheremo i metodi di percezione del colore e illustreremo le invenzioni che l'uomo ha creato ispirandosi al loro funzionamento, la pellicola e le cineprese a colori; delle pallide copie che lontanamente si assomigliano a quel congegno perfetto a cui si ispirano.

2.2 FUNZIONAMENTO OCCHIO

L'occhio umano è l'organo grazie al quale si riescono a ottenere informazioni sul mondo attraverso la luce: l'occhio immagazzina la luce dell'ambiente circostante grazie al cristallino, un organo del bulbo oculare, che si può idealizzare come una lente biconvessa. Il cristallino concentra i raggi su una zona della retina, ognuno di questi raggi colpisce la retina in un punto detto punto immagine, la cui somma costituisce l'immagine retinica dell'oggetto.

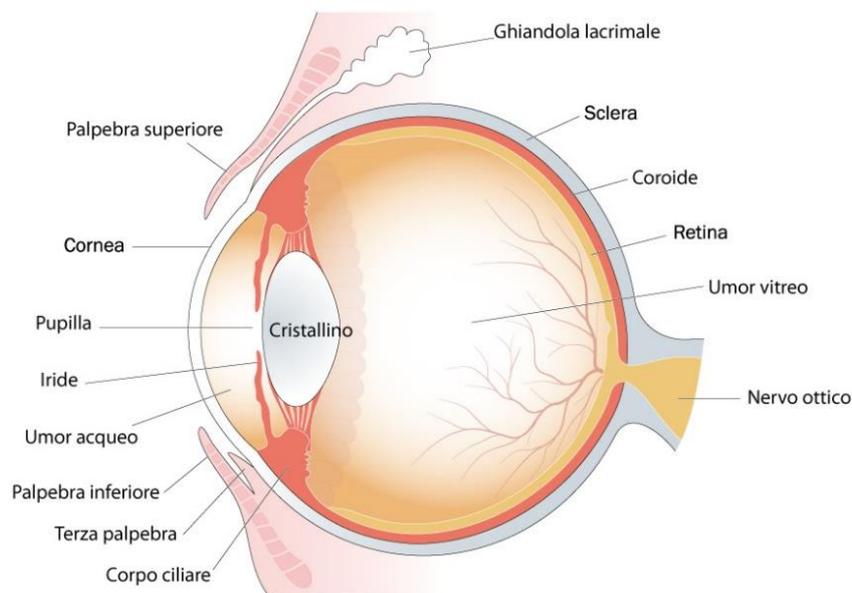


FIGURA 9 _ANATOMIA OCCHIO

capitolo 2 – storia colore al cinema

La retina si comporta come una pellicola fotografica¹ che ha due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli. I bastoncelli sono dei fotorecettori sensibili a bassi livelli di luminosità, entrano in funzione col buio e la penombra, con una visione che avviene in scala di grigi (visione scotopica). I coni invece sono un tipo di fotorecettore sensibile a diverse lunghezze d'onda, ne esistono di tre tipi, ciascuno con una curva di sensibilità differente, per le onde corte, medie e lunghe, che all'incirca corrispondono alle aree dei blu, dei verdi e dei rossi. Per questo motivo, in letteratura specialistica², sono indicati come S, M e L (che corrispondono ai termini inglesi *short, medium e long*). I coni verdi sono la maggioranza, corrispondendo a circa il 60% del totale, i rossi sono il 30% e i blu solo il 10%. Tutti i coni però rispondono a tutte le lunghezze d'onda, ad esempio i coni "rossi" hanno una sensibilità spiccata per il colore rosso, ma vengono attivati anche da lunghezze d'onda gialle, verdi e perfino blu.

Il cervello elabora le informazioni catturate dai coni e confrontando i dati ricostruisce i colori per confronto. Questa divisione in coni S, M e L può essere fuorviante: verrebbe da assimilare i coni ai led di un monitor RGB; tuttavia la percezione dei colori in maniera differente, se i coni "rossi" ad esempio, pur avendo un picco di sensibilità per un colore, vengono attivati da qualunque lunghezza d'onda, il led di un monitor si potrà colorare solo di rosso (più o meno luminoso), ma non potrà mai colorarsi di verde. Il monitor quindi, si basa su un sistema di miscelamento dei colori, mentre il cervello usa dei recettori per operare un confronto.

L'elaborazione del colore vera e propria avviene in tre tappe: la prima è rappresentata dalla *valutazione delle lunghezze d'onda* percepite dalla retina (che avviene a livello della corteccia visiva primaria), in seguito vengono confrontati i dati provenienti dai coni, garantendo la *costanza cromatica* (ovvero una elaborazione indipendente dallo spettro). Infine vi è un'ultima fase di *controllo dell'attribuzione cromatica*, che coinvolge altre aree del cervello, come la corteccia temporale inferiore o l'ippocampo; in questa fase si interpreta il colore in base ai

¹ Sarebbe più corretto dire che la pellicola si comporta come una perfetta retina, ma la similitudine esplica bene il concetto.

² R. Falcinelli, *Cromorama* pag. 420, Einaudi 2017.

capitolo 2 – storia colore al cinema

dati che il cervello ha già immagazzinato in passato: un limone ad esempio, ci apparirà più giallo di un oggetto dello stesso colore perchè ricordiamo il suo colore.

Sono due i modelli classici che hanno descritto, fin dall'Ottocento, come il cervello percepisca il colore, la *teoria tricromatica* di Young/Helmholtz e la *teoria delle coppie opponenti* di Hering.

Young, che traeva l'ispirazione dalle idee sulle mescolanze messe a punto dalla pittura, crede che esistano tre recettori, ciascuno per uno dei tre colori primari, la cui combinazione produce tutto l'arcobaleno.

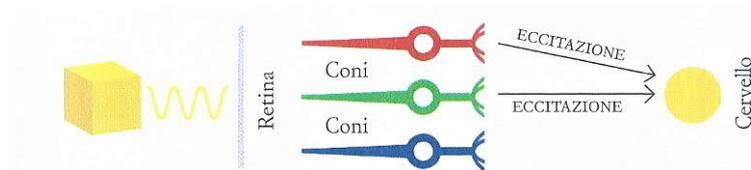


FIGURA 10_MODELLO TRICROMATICO DI YOUNG/HELMOLTZ

Hering, invece, crede che il giallo sia un colore autonomo (indipendente da rosso o verde) e teorizza che il cervello, psicologicamente, elabora i colori.

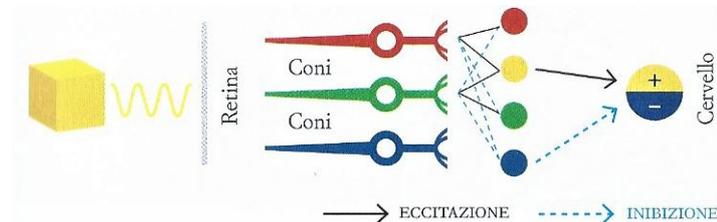


FIGURA 11_MODELLO TRICROMATICO DI HERING

Oggi si è verificato³ che le ipotesi di Hering sono le più corrette, in quanto la costruzione del colore avviene a un livello più elevato di quello di coni. Il meccanismo è di questo tipo: i segnali provenienti dai coni giungono alle cellule nervose superiori (all'interno della retina) eccitandole o inibendole. Le cellule eccitate dai coni rossi potranno essere inibite da quelli verdi e viceversa; altre invece potranno essere inibite contemporaneamente dai rossi e dai verdi ed eccitate da quelli blu.

³ R. Falcinelli, *Cromorama* pag. 423, Einaudi 2017.

capitolo 2 – storia colore al cinema

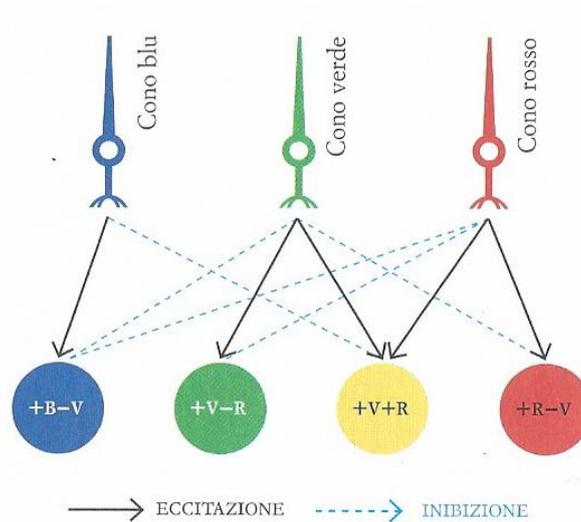


FIGURA 12_SINTESI DEI COLORI DA PARTE DELLA RETINA

La retina, a questo punto, elabora le informazioni e invia alla corteccia cerebrale delle informazioni già processate, dove ciò che conta è il rapporto tra le lunghezze d'onda, non le lunghezze d'onda in se: c'è blu, quindi non c'è giallo; c'è più verde, quindi c'è meno rosso, eccetera.

In definitiva la visione dei colori:

- Ha bisogno di minimo tre componenti da sintetizzare per ottenere un ventaglio di colori che sia paragonabile allo spettro di quelli visibili.
- Permette di ricostruire i colori grazie ai dati sull'eccitazione dei vari tipi di coni, ma soprattutto grazie alle differenze di stimolazione tra di essi.

2.3 SINTESI ADDITIVA E SOTTRATTIVA

Sapendo come funziona il sistema ottico occorre approfondire le tecniche sviluppate per stimolare l'occhio alla percezione del colore. La *sintesi additiva* è il metodo nel quale le luci dei colori primari vengono sovrapposte per formare tutte le sfumature, per creare la luce bianca si sommano rosso, verde e blu; questo è il metodo utilizzato ancora oggi per schermi e proiettori. La stimolazione dei tre tipi di coni porta il cervello a percepire qualunque colore generabile dall'incontro tra luce rossa, verde e blu in diverse porzioni. L'incontro di due fasci luminosi della stessa intensità

capitolo 2 – storia colore al cinema

genera nell'ordine il giallo (rosso+verde), il magenta (blu+rosso) e il ciano (verde+blu).



FIGURA 13_SINTESI ADDITIVA (SINISTRA) E SINTESI SOTTRATTIVA (DESTRA)

Ciò avviene quando la luce che colpisce i recettori proviene da una fonte luminosa, quando si osserva un oggetto che la luce la riflette anziché emanarla accade qualcosa di diverso: una superficie colorata infatti, assorbe una parte della luce e restituisce il resto nell'ambiente, sotto forma di luce riflessa. Un limone ad esempio, illuminato da una luce bianca, assorbe la radiazione del blu, riflettendo le lunghezze d'onda del verde e del rosso (che come noto sulla retina creano il giallo).

Considerando il fenomeno sotto questo punto di vista, le superfici che ci appaiono colorate, sottraggono all'occhio una parte dello spettro del visibile. Nel campo delle superfici colorate (pittura e stampa ad esempio) è necessario capire quale effetto abbia sull'occhio la miscelazione di colori differenti.

Se mescoliamo su una superficie neutra del ciano e del magenta otterremo il blu; il colore risultante infatti corrisponderà alla parte di spettro del visibile che entrambi riflettono, mentre sarà cancellata la porzione di luce riflessa da uno soltanto di essi. Il ciano rifletterà il blu e il verde e il magenta invece rifletterà blu e rosso; mescolando i due colori otterremo quindi il blu.

Questo paradigma è chiamato *sintesi sottrattiva* e si basa su dei colori primari differenti, ovvero i tre colori che sottraggono uno dei colori della sintesi additiva, sono quindi il giallo (che riflettendo rosso e verde sottrae il blu), il magenta (che riflettendo rosso e blu sottrae il verde) e il ciano (che riflettendo verde e blu sottrae il rosso). La mescolanza di due primari qualsiasi genera uno dei primari della sintesi

capitolo 2 – storia colore al cinema

additiva, la mescolanza dei tre ottiene invece che nessun colore venga riflesso, otteniamo quindi il nero.

Sia la sintesi additiva che la sintesi sottrattiva sono state usate per creare la fotografia a colori.

2.4 FUNZIONAMENTO PELLICOLA

L'energia presente in ogni fotone causa una trasformazione delle sostanze chimiche presenti sulla pellicola. Il processo, nel quale l'energia elettromagnetica causa dei cambiamenti chimici della materia è detto fotochimica. La pellicola è sostenuta da una base fatta di un materiale plastico (celluloide) che è spesso dai 4 ai 7 millesimi di pollice. Sopra la base aderisce l'emulsione sulla quale avviene la trasformazione fotochimica; possono esserci 20 o più strati di rivestimento differenti, ognuno dei quali è spesso meno di un millesimo di pollice; in molti di questi strati non avvengono reazioni chimiche, ma servono a filtrare la luce o a controllare le reazioni chimiche che avvengono in fase di sviluppo. Gli strati deputati alla formazione dell'immagine contengono dei granelli di alogenuri⁴ di argento, di dimensioni inferiori al micron, che fungono da fotorecettori.

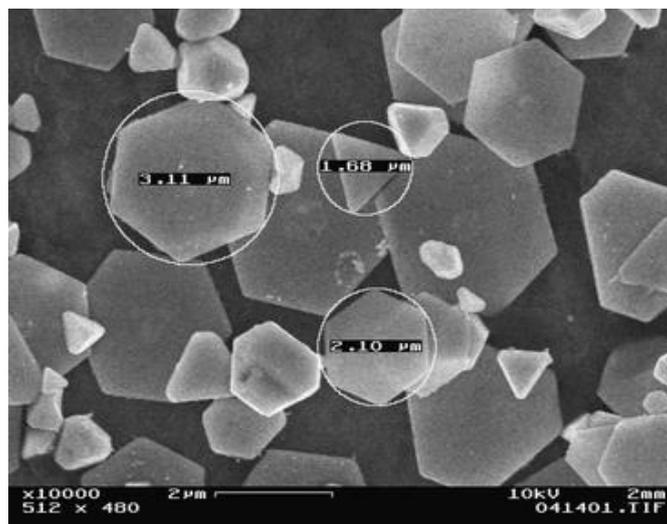


FIGURA 14_FOTO AL MICROSCOPIO DI UNA PELLICOLA IN BIANCO E NERO (ASA 400)

⁴ Un alogenuro in chimica è un composto tra un elemento alogeno e un elemento più elettropositivo, in questo caso l'argento.

capitolo 2 – storia colore al cinema

Questi cristalli sono il cuore della pellicola; è infatti dall'esposizione a varie forme di radiazione elettromagnetica che avviene il cambiamento chimico. I grani così come sono hanno una sensibilità solo alle lunghezze d'onda corrispondenti al blu, quindi non molto utili, occorre utilizzare degli additivi in modo da renderli sensibili anche alle altre lunghezze d'onda. Altre sostanze chimiche invece, modificano la sensibilità della pellicola alla luce, ovvero la sua "velocità" (speed in inglese); questo concetto è quantificato da standard imposti dall'ISO (International Standards Association). L'ISO è la corretta unità di misura della sensibilità di una pellicola (anche se esistono altri standard come l'ASA⁵ o l'EI). Quando la pellicola è più sensibile significa che i grani di alogenuro di argento sono più grandi, ciò ha come conseguenza l'effetto di "grana" tipico delle pellicole. Le aziende manifatturiere di pellicole hanno sviluppato standard sempre migliori per ridurre la grana, anche se adesso essa torna di moda, in quanto dona un certo grado di autenticità alle riprese digitali.

Servono due passaggi per arrivare ad avere un negativo, nel primo avviene la fase di esposizione, nella quale l'alogenuro di argento viene alterato dalla luce in proporzione alla quantità di luce che viene assorbita dalla pellicola, questo cambiamento non è visibile e se la pellicola viene esaminata prima e dopo l'esposizione non si nota alcun cambiamento evidente, l'immagine che si crea è infatti definita in questa fase, "immagine latente". Nel secondo passaggio avviene la fase di sviluppo, dove l'alogenuro d'argento, modificato dalla quantità di luce assorbita, viene trasformato in argento puro grazie a degli agenti chimici particolari. L'azione di chi sviluppa la pellicola (l'uso di quali agenti chimici e la durata dei bagni di sviluppo) determinerà la quantità di alogenuro che verrà convertita in argento.

2. 5 PANCROMATICITA' ED ORTOCROMATICITA'

A questo punto è necessario fare una distinzione tra due tipi di pellicole, entrambi utilizzati per realizzare film e fondamentali nella storia dell'evoluzione del colore al cinema.

⁵ Lo standard ASA è lo standard utilizzato storicamente per definire la sensibilità delle pellicole, recentemente, quando la fotografia è diventata digitale, lo standard ISO è diventato il più utilizzato.

capitolo 2 – storia colore al cinema

I primi lungometraggi utilizzavano una pellicola ortocromatica, questo tipo di pellicola è sensibile alle tonalità del blu e del verde, ma non a quelle dei gialli e dei rossi. Ciò era un grande problema per le prime case di produzione cinematografiche: in queste condizioni gli occhi azzurri risultano quasi bianchi e il cielo è quasi sempre monocromatico e piatto. I problemi maggiori li avevano i volti, che apparivano scuri ed eventuali irregolarità della pelle li facevano sembrare maculati, ciò avviene proprio perchè la pelle ha tonalità presenti nella scala dei rossi/marroni, che in camera apparivano come neri.

Inoltre, essendoci pochi colori che venivano percepiti dalla pellicola, le differenze tonali della scala dei grigi erano molto limitate, donando alla pellicola un contrasto elevato, tipico del cinema del periodo muto. Il trucco doveva seguire l'estetica della pellicola ortocromatica: venivano usate ciprie verdi o blu e rossetti gialli per cercare di riprodurre le tonalità realistiche su una pellicola poco sensibile.



FIGURA 15_FOTOGRAFIA SCATTATA CON PELLICOLA ORTOCROMATICA (DA NOTARE IL ROSSO DELLA BANDIERA BRITANNICA CHE RISULTA NERO IN STAMPA)

In aggiunta a tutto ciò serviva inoltre una quantità di luce elevata per impressionare la pellicola e i primissimi film venivano girati solo con la luce diretta del sole, per

capitolo 2 – storia colore al cinema

passare poi a lampade a vapore che producevano una luce blu adatta per quel tipo di pellicola.

La pellicola ortocromatica venne sostituita poi da quella pancromatica, che riesce a impressionarsi con tutte le tonalità di colore, donando al film finale una gamma di grigi molto più naturale. Ogni regista che voleva utilizzare pellicola pancromatica prima del 1922, doveva ordinarla appositamente. Nonostante ci fosse uno spettro di grigi più ampio infatti, la pellicola era più instabile, aveva bisogno di più luce ed era molto costosa, tant'è vero che molti direttori della fotografia la utilizzavano solo per riprendere i cieli e scene di esterni.

Già nel 1926 però, una versione di pellicola pancromatica a basso costo era stata lanciata sul mercato e Hollywood passò in massa al nuovo sistema, nel 1931 la conversione era ormai completata, negli stessi anni in cui il sonoro rivoluzionò il modo di fare cinema.

2.6 EVOLUZIONE DEL COLORE AL CINEMA

Conoscendo i meccanismi di percezione del colore dell'occhio umano e sapendo come funziona una pellicola, ideare una macchina da presa che registri il colore tramite sintesi additiva è semplice:

- L'immagine passa in un obiettivo.
- Viene divisa da un prisma in tre immagini uguali.
- Ognuna delle tre immagini viene filtrata da un filtro diverso, uno rosso, uno verde e uno blu.
- Dopo ogni filtro vi è una pellicola, ogni pellicola così è impressionata rispettivamente solo dalla luce rossa, solo dalla verde e solo dalla blu dell'immagine originale.
- Dopo la fase di sviluppo le pellicole si possono proiettare, ognuna deve passare dal suo filtro e restituire sullo schermo l'informazione relativa al suo canale.
- Dalla sovrapposizione delle tre immagini, rossa, verde e blu si ottiene l'immagine a colori.

capitolo 2 – storia colore al cinema

Nei primi anni del Novecento molte invenzioni si sono succedute per arrivare a questo risultato finale, utilizzando tecniche diverse.

I principi della fotografia a colori erano già stati dimostrati da Maxwell nel 1861, ci vorrà molto tempo prima che il colore arrivi finalmente nel mondo del cinema; tuttavia i pionieri dell'industria nascente iniziarono subito con i loro esperimenti e provarono ad aggiungere i colori dopo le riprese.

La colorazione a mano era una tecnica utilizzata da tantissimi e veniva eseguita con smalti particolari. Nei primi anni del cinema, quando i film duravano solo 10 minuti era un metodo economicamente fattibile; Georges Melies infatti assunse 21 donne che coloravano i film fotogramma per fotogramma. Quando il mercato del cinema si allargò Charles Pathe meccanizzò il processo di colorazione in Francia usando un metodo "a stencil" chiamato *Pathecolor*; nel 1910 Pathè aveva 400 donne impiegate nella sua fabbrica.

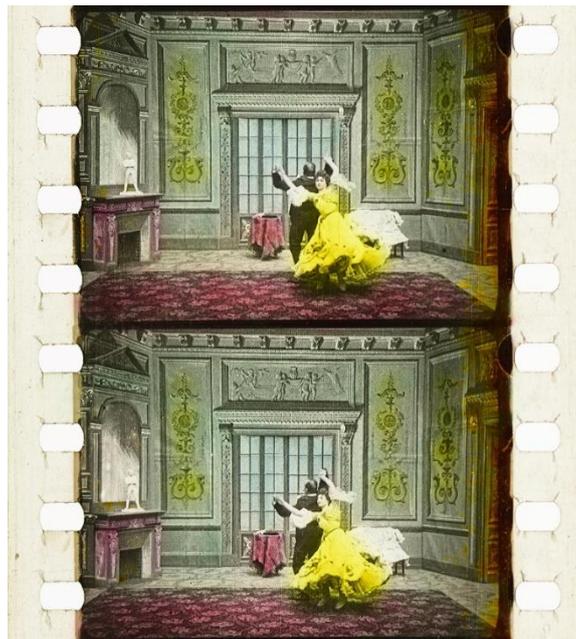


FIGURA 16_PELLICOLA COLORATA A MANO (1903)

Quando il cinema divenne un'industria mediale internazionale nemmeno il metodo Pathecolor riusciva a soddisfare l'alta domanda presente sul mercato; i produttori iniziarono a usare metodi dove si metteva la pellicola in bagni di sostanze coloranti: il "tinting" consisteva nel mettere la pellicola in un bagno di inchiostro, ciò significava che l'intero fotogramma veniva colorato; il "toning" invece colorava solo

capitolo 2 – storia colore al cinema

le parti scure del fotogramma, trasformando chimicamente l'argento presente nel fotogramma in dei sali colorati. Alcuni registi come D.W. Griffith usarono il tinting e il toning per dare alla pellicola un'atmosfera, dividendo il lungometraggio in spezzoni colorati a seconda del filo narrativo; molto spesso si decideva in base all'ambientazione della scena (le scene notturne ad esempio erano tipicamente colorate di blu).



FIGURA 17_ESEMPI DI TINTING (SINISTRA) E TONING (DESTRA)

Negli anni 20 tra l'80 e il 90% di tutti i film prodotti in America usavano delle forme di tinting o di toning, ma questi metodi crearono qualche problema quando venne introdotto il sonoro nel 1927, che veniva stampato come traccia ottica all'interno della pellicola, venne creata una pellicola preinchiostrata, ma divenne presto desueta quando i nuovi metodi inventati per riprendere i colori in maniera naturale iniziarono a diventare popolari.

Il primo grosso tentativo per catturare i colori naturali al cinema avvenne nel 1908, quando Charles Urban fondò la *Natural Color Kinematograph Company*, il Kinemacolor venne inventato da un dipendente, George Albert Smith ed era un processo additivo a due canali, in camera un frame veniva catturato con un filtro rosso, quello successivo con uno verde e così via, avanti e indietro. In fase di riproduzione, il proiettore montava un filtro rotante rosso-verde e la sequenza di fotogrammi sullo schermo veniva fusa dal cervello umano grazie al meccanismo della persistenza della visione, il risultato era un'immagine di buona qualità, anche se era un sistema a due canali, il più grande successo arrivò nel 1912 quando venne filmata con questo sistema l'incoronazione di Giorgio V del Regno Unito; ma c'erano dei problemi, registrare i colori in maniera sequenziale significava che ogni fotogramma era leggermente spostato temporalmente rispetto a quello precedente

capitolo 2 – storia colore al cinema

di colore diverso e ciò si notava particolarmente con oggetti in movimento veloce, con delle frange colorate che appaiono visibili⁶; inoltre non si poteva catturare il colore blu (e quindi in sintesi additiva nemmeno l'assenza di blu, ovvero il giallo), Charles Urban aveva depositato il brevetto per riprodurre i colori naturali, ma non riusciva a riprodurre il blu, un giudice americano annullò per questo motivo il brevetto e la Kinemacolor venne liquidata di lì a poco.



FIGURA 18_FOTOGRAMMA KINEMACOLOR (DA NOTARE L'EFFETTO DI FRANGE CAUSATO DALLA SEQUENZIALITÀ CON LA QUALE VENGONO CATTURATI I FOTOGRAMMI ROSSI E VERDI)

Dopo tanti tentativi per trovare un altro metodo additivo, il primo vero successo per la pellicola a colori arrivò come metodo sottrattivo a due canali, nel 1915 venne fondata la *Technicolor Company*. Il metodo sottrattivo della Technicolor (datato 1922) usava un prisma interno alla camera che separava l'immagine in due quadri differenti che finivano nella pellicola dopo essere passati attraverso due filtri (rosso e verde), in fase di stampa uno veniva colorato di magenta e l'altro ciano e infine i due venivano stampati in un'unico frame a colori che poteva essere riprodotto con i proiettori standard⁷

⁶ Questo effetto si definisce *parallasse temporale*.

⁷ Questo sistema tuttavia non risolveva il problema della mancanza di tinte blu.

capitolo 2 – storia colore al cinema

Nonostante l'alta qualità, la Technicolor, nel 1932 era sull'orlo del fallimento, schiacciata da aziende che producevano pellicole in bianco e nero molto più economiche e artisticamente validissime senza bisogno di tantissima luce; l'azienda giocò tutto aggiornando il sistema, creando il sistema a tre canali (Technicolor IV), utilizzando un prisma dividevano la luce in due fasci che colpiva tre pellicole, un fascio attraversava un filtro verde e colpiva la pellicola, l'altro attraversava un filtro magenta (che schermava la luce verde) e colpiva due pellicole, una ortocromatica (essendo insensibile al rosso registrava il canale blu) e l'altra pancromatica destinata al canale rosso.

Questo metodo era migliore di qualunque altro, ma era veramente costoso, ogni camera costava 30000\$ e la Technicolor voleva tenere il pugno di ferro sulla qualità finale del prodotto: per fare un film Technicolor bisognava assumere un cameraman specializzato, usare un trucco adatto e un consulente era sempre presente, facendo in modo che venisse usata una palette di colori ben precisa.



FIGURA 19_TECHNICOLOR IV

capitolo 2 – storia colore al cinema

Le aziende di Hollywood erano esitanti a provare questa nuova tecnologia, l'unico che si lanciò nell'impresa fu Walt Disney, che nel 1932 e 1933 fece uscire *Flowers and Trees* e *Three Little Pigs*; furono due grandi successi e vinsero entrambi il premio per miglior cortometraggio animato agli Oscar; il primo film in Technicolor in presa diretta fu *Becky Sharp* (1935), ma fu *The Garden of Allah* (1936) che lanciò definitivamente il colore al cinema, grazie ai suoi altissimi incassi.

2.7 CONCLUSIONI

Come abbiamo visto in questo capitolo i concetti alla base della riproduzione dei colori sono tanti ed erano conosciuti già nell'Ottocento, le varie tecnologie si erano evolute e negli anni in cui Casiraghi lavorava alla macchina presa in esame erano già usciti numerosi film in Technicolor, il metodo che servirà da standard almeno per vent'anni.

I sistemi a due canali erano già stati abbandonati negli anni 20, il fallimento del Kinemacolor è stato un esempio; è difficile pensare che Casiraghi nel 1936 lavorasse a una macchina che presentava una tecnologia risalente a trent'anni prima: è come se oggi la Olivetti cercasse di rientrare sul mercato lanciando il floppydisk.

Vitale Casiraghi dedicò la maggior parte dei suoi sforzi proprio a catturare il colore al cinema, nel prossimo capitolo illustreremo le modalità di rappresentazione del colore che l'inventore sviluppò negli anni.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

3.1 INTRODUZIONE

Affinche il cervello dello spettatore riesca a ricostruire i colori originali della rappresentazione cinematografica, è necessario che riceva delle informazioni ben precise; grazie ai documenti presenti nell'archivio del Museo del Cinema sappiamo che Vitale Casiraghi dedicò minimo 13 anni della sua vita per riuscire ad arrivare a questo risultato, affinando sempre più le sue tecniche.

Analizzando i principali brevetti di Casiraghi è possibile distinguere tre fasi:

- La fase pre-Francita (tra il 1924 e il 1931)
- La fase Francita (dopo il 1931 e prima del 1936)
- La fase italiana (dal 1936 in poi)

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Il materiale presente è tanto e vario, proseguiremo quindi ad analizzare i brevetti principali che vennero depositati in Francia e in Italia, presentando poi le varie interviste ai giornali dove questi brevetti vengono illustrati dall'autore stesso.

3.2 I BREVETTI DELLA FASE PRE-FRANCITA

Vitale Casiraghi depositò 7 brevetti in Francia, tra il 1924 e il 1931; nella maggior parte Di essi vengono descritte metodologie di ripresa del colore, persino quando brevettò una macchina per riprendere il sonoro venne inclusa una descrizione delle tecnologie per la rappresentazione dei colori.

Il primo brevetto preso in esame è datato 8 Marzo 1924, intitolato *Nuovo sistema di pellicola a colori naturali e il suo processo di fabbricazione*; in questo documento l'inventore descrive una pellicola a colori composta da tre pellicole distinte incollate tra di loro, due sono le idee descritte:

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

- a) L'apparecchio di ripresa tricromatico che impressiona tre bobine differenti, descritto in figura 20 (sulla sinistra).
- b) Il macchinario che serve per saldare le tre pellicole in una, dove ognuna delle tre corrisponde a uno dei colori fondamentali, descritto in figura 20 (sulla destra).

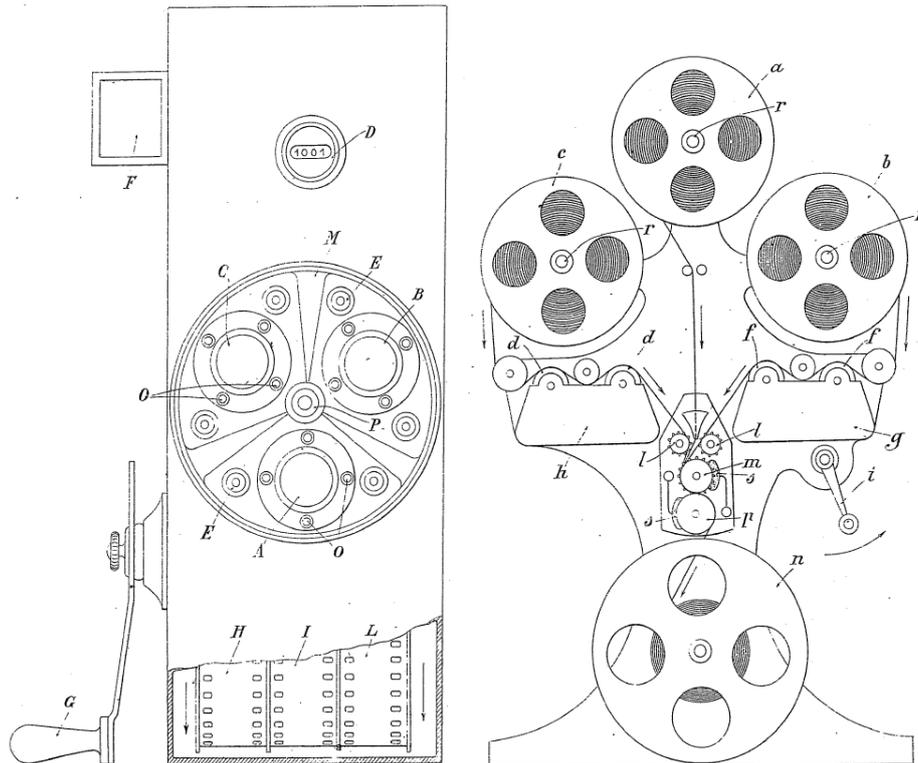


FIGURA 20_ILLUSTRAZIONI BREVETTO 8 MARZO 1924

L'apparecchio da ripresa è composto da tre obiettivi montati su una struttura, davanti a ogni obiettivo è presente un filtro (i tre filtri sono rosso, giallo e blu), ognuno dei filtri corrisponde poi a una pellicola diversa e la cinepresa è messa in funzione dalla classica manovella che aziona il meccanismo a croce di Malta¹, in modo tale da far muovere la pellicola.

¹ La croce di Malta (o di Ginevra) è un meccanismo che serve a trasformare un moto rotatorio continuo in uno rotatorio intermittente, nelle cineprese trasforma il moto dell'albero motore in quello intermittente che serve a trascinare la pellicola.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Dopo che le pellicole sono state impressionate vengono sviluppate in positivi e successivamente si passa alla fase di saldatura.

La macchina da saldatura è composta da tre assi di supporto *r* per le tre bobine² *a*, *b* e *c*, la prima destinata alla pellicola rossa, la seconda alla pellicola blu e la terza alla pellicola gialla. Le tre pellicole in seguito si riuniscono per saldarsi sul tamburo *m*, sul quale sono presenti delle tacche regolatrici, dopo che i bordi esterni delle pellicole *a* e *c* sono stati rivestiti di una colla apposita si riuniscono con la pellicola *b* e la pellicola saldata viene arrotolata sulla bobina *n* ed è pronta per la proiezione.

Verso la fine del brevetto, Casiraghi aggiunge che si possono apportare modifiche costruttive alle apparecchiature, usando un altro apparecchio tricromatico o altri apparecchi per la saldatura.

Le saldature tra le tre pellicole, oltre che a unire i tre canali, servivano a rinforzare la struttura della pellicola, uno dei problemi infatti era (e rimane tutt'oggi) la fragilità delle pellicole, che si deteriorano con estrema facilità.

Il brevetto presenta dei problemi che minerebbero la qualità del prodotto finale:

- Casiraghi descrive come colori fondamentali il rosso, il giallo e il blu; questo avrebbe comportato una rappresentazione non corretta dei colori: il filtro giallo infatti scherma la luce blu, ma fa passare sia la luce rossa che quella verde, quest'ultima quindi non viene isolata e quando si riproietta il girato tutte le tonalità che nella scena originale erano puramente verdi appariranno come sfumature di giallo. I filtri fondamentali risultano essere il verde, il rosso e il blu, che corrispondono ai picchi di ricettività dei coni presenti sul fondo della cornea³.
- I tre obiettivi sono posti in tre posizioni leggermente differenti, questo significa che le pellicole corrispondenti ai tre canali avranno dei fotogrammi che presentano immagini diverse; una volta che le immagini vengono riproiettate lo spettatore percepirà una confusione dovuta a questo

² Le lettere in corsivo si riferiscono all'illustrazione in Figura 20.

³ Vedi Capitolo 2.

capitolo 3 – Casiragli e il colore

leggerissimo problema di parallasse che viene accentuata se l'oggetto ripreso si trova relativamente vicino alla macchina da presa.

- La fase di saldatura delle tre pellicole si aggiunge al processo produttivo, allungando tempi e costi.

Uno sviluppo notevole della tecnologia lo possiamo vedere nel brevetto successivo, quello del 29 Aprile 1924.

Il brevetto descrive un'interessantissima macchina capace di riprendere una scena a colori e contemporaneamente di registrarne i suoni, conviene spendere due parole per illustrare le due idee.

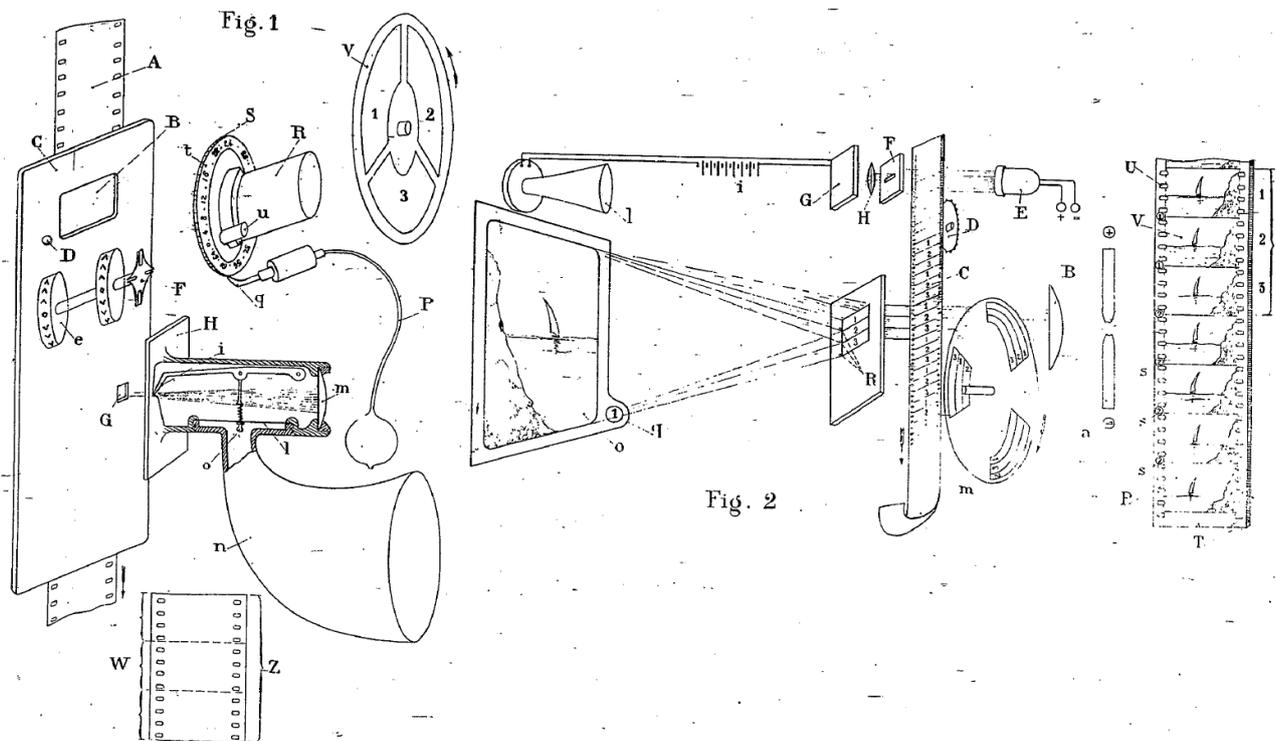


FIGURA 21_ILLUSTRAZIONI BREVETTO 29 APRILE 1924

Il procedimento alla base della registrazione dei suoni è semplice: dato che occorre mantenere la sincronia tra sonoro e immagine, si traducono le onde sonore in onde luminose che vengono registrate a lato dei fotogrammi; tramite un diaframma luminoso adattato all'apparecchio di ripresa viene azionato un otturatore che permette di far passare la luce attraverso una lente che successivamente impressiona la pellicola.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Nel bordo opposto invece, tramite un oggetto particolare, vengono impressionati dei segni che corrispondono alle battiture della composizione musicale d'accompagnamento. Queste battiture proiettate sullo schermo, permettono al direttore d'orchestra presente al cinema di ottenere il sincronismo tra la scena e la composizione⁴.

La macchina, descritta nella figura 21, è composta da varie parti:

- Un filtro tricromatico girevole, dalle immagini sembra pensato in modo tale che ogni fotogramma sia filtrato da un filtro diverso.
- Un diaframma pensato per convertire le informazioni sonore in onde luminose, composto da un padiglione per intercettare l'informazione sonora collegato a una vite che fa aprire un otturatore in sincronia, l'otturatore fa passare più o meno luce a seconda dell'informazione ottenuta e questa impressionerà la pellicola a lato.
- Un meccanismo azionato da una pompetta a pera collegata con la pellicola stessa, ogni volta che l'operatore aziona la pompetta viene impressionato un piccolo segno sul lato opposto alla colonna sonora⁵, come detto in precedenza ciò può servire in futuro al direttore d'orchestra presente in sala per dettare il tempo della partitura musicale.

In fase di riproduzione sarà necessario adottare dei meccanismi per assicurare il corretto funzionamento della tecnologia:

- Un filtro tricromatico inverso rispetto a quello usato in fase di registrazione, in modo tale che ognuno venga proiettato col suo filtro, tramite il meccanismo della persistenza retinica il cervello non distinguerà i fotogrammi e li fonderà ricreando un film a colori.
- Un meccanismo per assicurare la riproduzione del sonoro, costituito da una piccola lampada che illumina la colonna sonora, la luce passerà poi attraverso

⁴ All'epoca infatti erano numerosi i casi di orchestre dal vivo presenti in sala, i film spesso erano infatti proiettati in veri e propri teatri, con tanto di buca dell'orchestra, il termine inglese per cinema è infatti *theater*.

⁵ La colonna sonora di una pellicola è la porzione riservata a registrare l'audio del lungometraggio, prende questo nome in quanto è una vera e propria colonna che si estende lungo tutta la pellicola a lato dei fotogrammi.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

una finestrella e poi attraverso una lente e infine colpiranno una piastra di selenio.

Sfruttando le caratteristiche fotoelettriche del selenio si può convertire la luce in forza motrice che può azionare infine un altoparlante.

- Un meccanismo che assicuri la corretta proiezione a margine dello schermo dei segni destinati al direttore d'orchestra.

Il sistema così pensato è ambivalente, si può infatti scegliere di riprodurre la colonna sonora o di utilizzare un accompagnamento orchestrale, negli anni 20 infatti non si sapeva se la riproduzione delle battute degli attori o di rumori sarebbe stata accettata da un pubblico abituato a uno spettacolo completamente diverso; Casiraghi quindi lascia aperte entrambe le possibilità. Per quanto riguarda la riproduzione del sonoro ci sono delle lacune nel progetto, infatti nella fase dove bisogna descrivere il meccanismo che mette in funzione l'altoparlante Casiraghi è vago e ci dice che si usano le proprietà fotoelettriche del selenio, ma non specifica come.

Inoltre l'idea di aggiungere un meccanismo a pompetta che impressioni direttamente la pellicola per dare il tempo della partitura aggiunge una mansione all'operatore di ripresa che è già impegnato a far girare la manovella della camera ed eventualmente a fare movimenti di camera, dovrebbe essere capace di mantenere un ritmo costante con la mano sinistra e uno diverso con la mano destra; quest'idea può essere cambiata spostando la fase di "partitura ottica" a livello di post-produzione, aggiungendo il meccanismo a pompetta non alla macchina da presa stessa, ma alla moviola utilizzata dal montatore.

Questo brevetto però ha alla base l'idea di colonna sonora che sarà la strada maestra nella registrazione e riproduzione dell'audio; ancora oggi infatti il sonoro funziona secondo i principi di questo documento, che risulta essere quindi molto valido dal punto di vista tecnologico.

Nel 1927 la Warner fa uscire al cinema *Il Cantante di Jazz*, il primo film sonoro destinato al grande pubblico; il successo è immediato e eviterà il fallimento della casa cinematografica, al tempo fortemente indebitata. La tecnologia utilizzata, il *Vitaphone*, sviluppato dalla General Electric, si basava ancora su un supporto fisico

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

(un disco) separato dalla pellicola che andava riprodotto in contemporanea al filmato; i problemi di sincronizzazione erano ovviamente tanti; il brevetto Casiraghi quindi è tecnologicamente superiore all'idea che prese piede nei primi anni del sonoro e che cambiò il cinema dei primi anni 30.

Dal punto di vista della rappresentazione dei colori lo sviluppo è notevole, infatti l'immagine passa attraverso l'obiettivo della camera e successivamente si divide in tre canali, ma se il brevetto precedente presentava problemi di parallasse spaziale, questo presenta problemi di parallasse temporale: ogni fotogramma colorato infatti è leggermente successivo al precedente e questo crea fastidio nello spettatore che nota un effetto particolare, specialmente se ad essere ripreso è un oggetto in movimento (lo stesso problema che aveva avuto il Kinemacolor in passato, come si può vedere nella figura 17 del cap. 2).

3.3 FASE FRANCIOSA

Vitale Casiraghi era ben consapevole delle limitazioni tecniche di questi primi brevetti e ne parla successivamente, nel lavoro depositato presso l'ingegner G. Bouju l'8 Giugno 1931. E' importante leggerne l'incipit:

“Un processo di cinematografia a colori naturali è già conosciuto, secondo cui si prende, di uno stesso soggetto, tre fotografie dove una registra unicamente i raggi rossi del soggetto, l'altra quelli verdi e la terza quelli blu, poi queste fotografie vengono posizionate su una pellicola positiva, si fa scorrere questa pellicola in un apparecchio di proiezione ad una velocità superiore alle 48 immagini al secondo in modo tale che lo spettatore percepisca simultaneamente sullo schermo le tre pellicole che sono state prima colorate di verde, rosso e blu. In questo modo il soggetto appare sullo schermo con i suoi colori naturali. [...] Questo processo presenta un certo numero di inconvenienti: in primo luogo, se le tre fotografie sono catturate da tre obiettivi differenti, queste non possono essere catturate dallo stesso punto di vista e in questo modo non sono più sovrapponibili tra di loro e quindi la loro sovrapposizione non donerebbe un'immagine fluida sullo schermo⁶”.

⁶ Brevetto Bouju, pag. 2.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

In questo lavoro dunque notiamo che Vitale Casiraghi era già consapevole nel 1931 dei problemi di parallasse spaziale creati da una cinepresa che separa i canali utilizzando obiettivi diversi (esattamente come accadrebbe se la cinepresa che stiamo analizzando servisse a riprendere il colore). Inoltre conosceva l'effetto di frange colorate creato dalla parallasse temporale:

“Se le fotografie sono prese successivamente alla velocità di 48 immagini al secondo, da un solo obiettivo davanti al quale si sussegue una serie di tre schermi colorati di rosso, verde e blu, e se il soggetto è animato da un movimento rapido, ogni fotografia differirà dalla precedente secondo lo spostamento del soggetto in modo tale che le fotografie non saranno ancora esattamente sovrapponibili e doneranno luogo, durante la proiezione, a delle frange colorate”⁷”.

La cinepresa descritta in questo brevetto cerca di risolvere questi problemi utilizzando un processo nel quale la pellicola riceve tutte le informazioni nello spazio ordinario di una fotografia di formato standard, le tre fotografie corrispondenti ai tre colori fondamentali hanno una superficie equivalente a un quarto dello spazio di partenza (sono alte infatti due perforazioni rispetto alle 4 dei fotogrammi tradizionali e sono larghe la metà); la quarta parte infatti, viene impressionata con luce bianca, in modo tale da dare, nella fase di sviluppo, un punto di riferimento per giudicare il tempo di sviluppo della pellicola.

Viene descritto anche un meccanismo per far sì che le tre fotografie vengano impressionate quasi simultaneamente; mentre la prima fotografia viene impressionata, la pellicola scende longitudinalmente di una quantità equivalente all'altezza dell'immagine, in seguito, dopo l'impressione della seconda fotografia, si sposta lateralmente di una quantità pari alla larghezza dell'immagine in modo tale da permettere l'impressione della terza fotografia a lato delle altre due.

Per illustrare il procedimento di impressione utilizziamo le figure del brevetto originale di Casiraghi: lo scorrimento verticale della pellicola è assicurato da un artiglio che effettua movimenti di ampiezza dimezzati rispetto a quelli di una cinepresa tradizionale; questo artiglio è poi collegato con una serie di ingranaggi all'albero motore. Il movimento laterale invece è assicurato da una guida lungo la

⁷ Brevetto Bouju, pag. 3.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

quale scorre una pinza che mantiene la pellicola ferma, questa guida è anch'essa solidale con l'albero motore.

I disegni descrivono vari momenti del procedimento di impressione della pellicola⁸:

- La figura 1 mostra la posizione dell'otturatore e dei filtri nel momento di acquisizione dell'immagine rosso.
- La figura 2 illustra invece le posizioni degli organi al momento dell'impressione dell'immagine verde.
- La figura 3 descrive le posizioni al momento dell'impressione dell'immagine blu.
- La figura 4 mostra gli organi durante l'intervallo che intercorre tra l'impressione dei due fotogrammi.
- La figura 5 è un dettaglio del meccanismo che permette lo spostamento orizzontale della pellicola.
- Le figure 6 e 7 descrivono di profilo la pellicola in due momenti conseguenti del processo, quello di trascinamento della pellicola e quello di impressione dell'immagine.
- La figura 8 mostra la pellicola impressionata.
- Le figure 9 e 10 rappresentano due alternative possibili di posizionamento delle immagini
- La figura 11 descrive il tragitto percorso dalla pellicola.
- La figura 12 è uno schema illustrativo del dispositivo utilizzato per la fase di proiezione.

⁸ Per la nostra trattazione utilizzeremo i numeri di figura utilizzati da Vitale Casiraghi nel brevetto originale.

capitolo 3 - Casiraghi e il colore

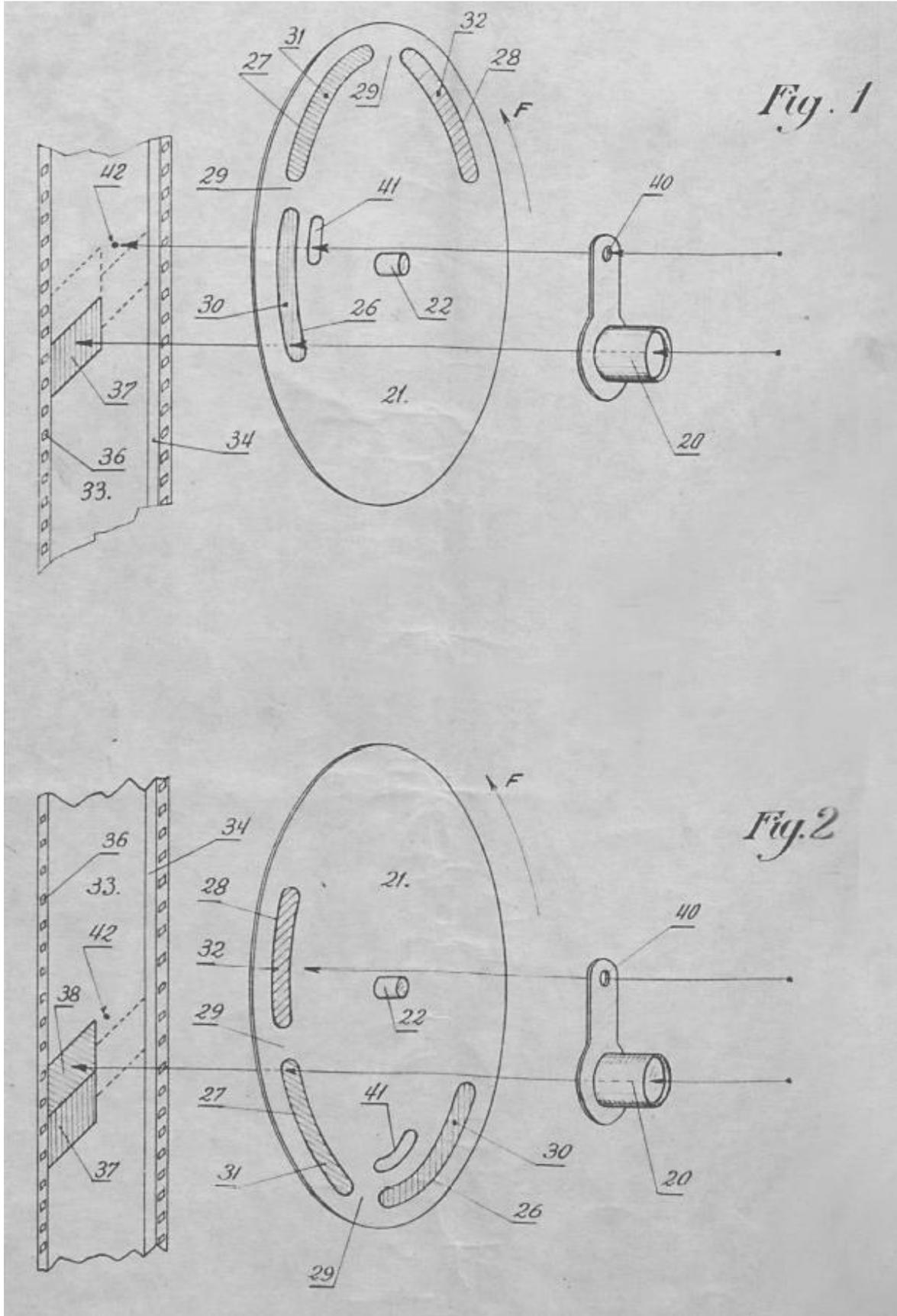


FIGURA 22_ILLUSTRAZIONE BREVETTO 8 GIUGNO 1931

capitolo 3 - Casiragli e il colore

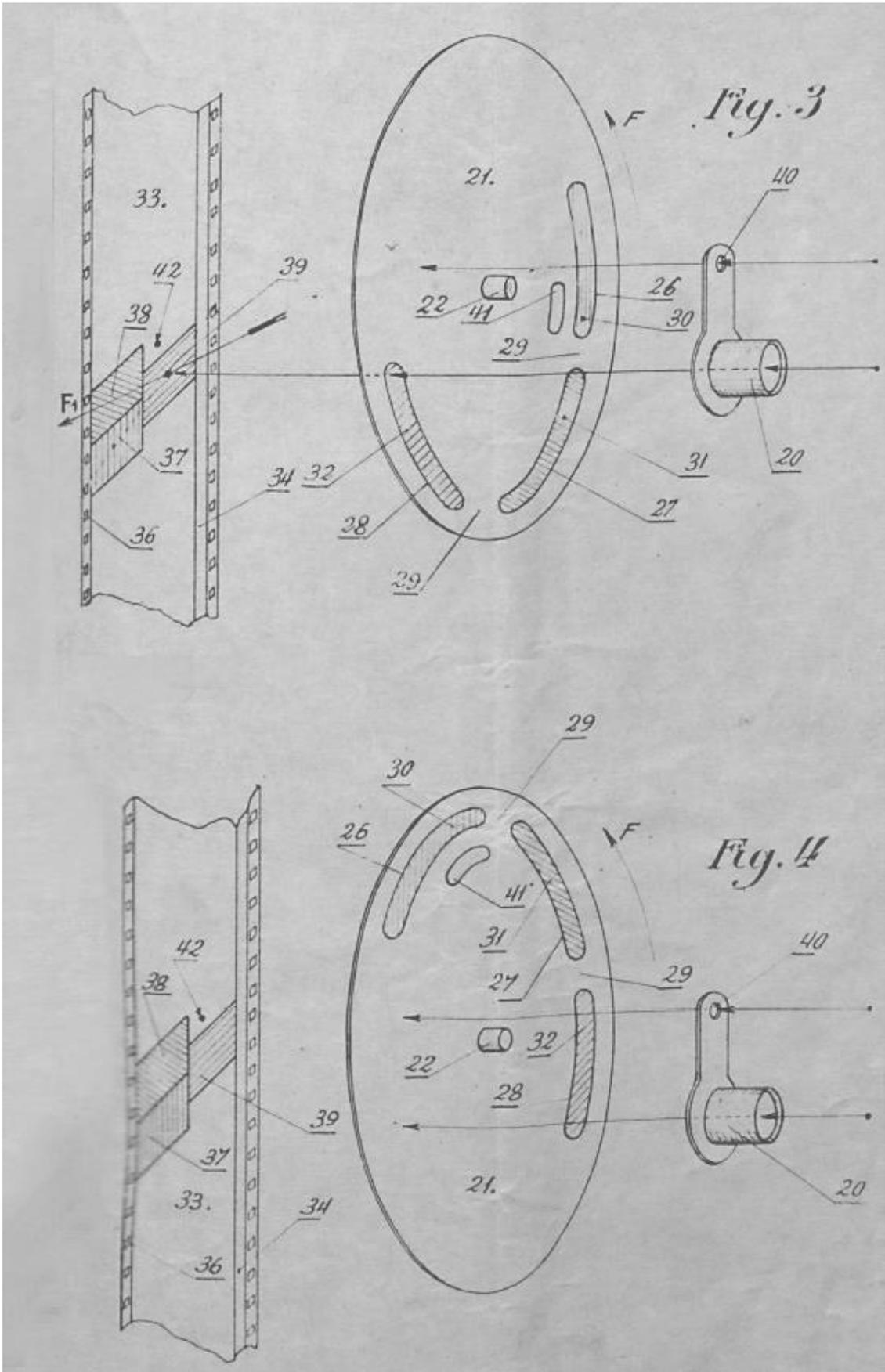


FIGURA 23_ILLUSTRAZIONE BREVETTO 8 GIUGNO 1931

capitolo 3 - Casiragli e il colore

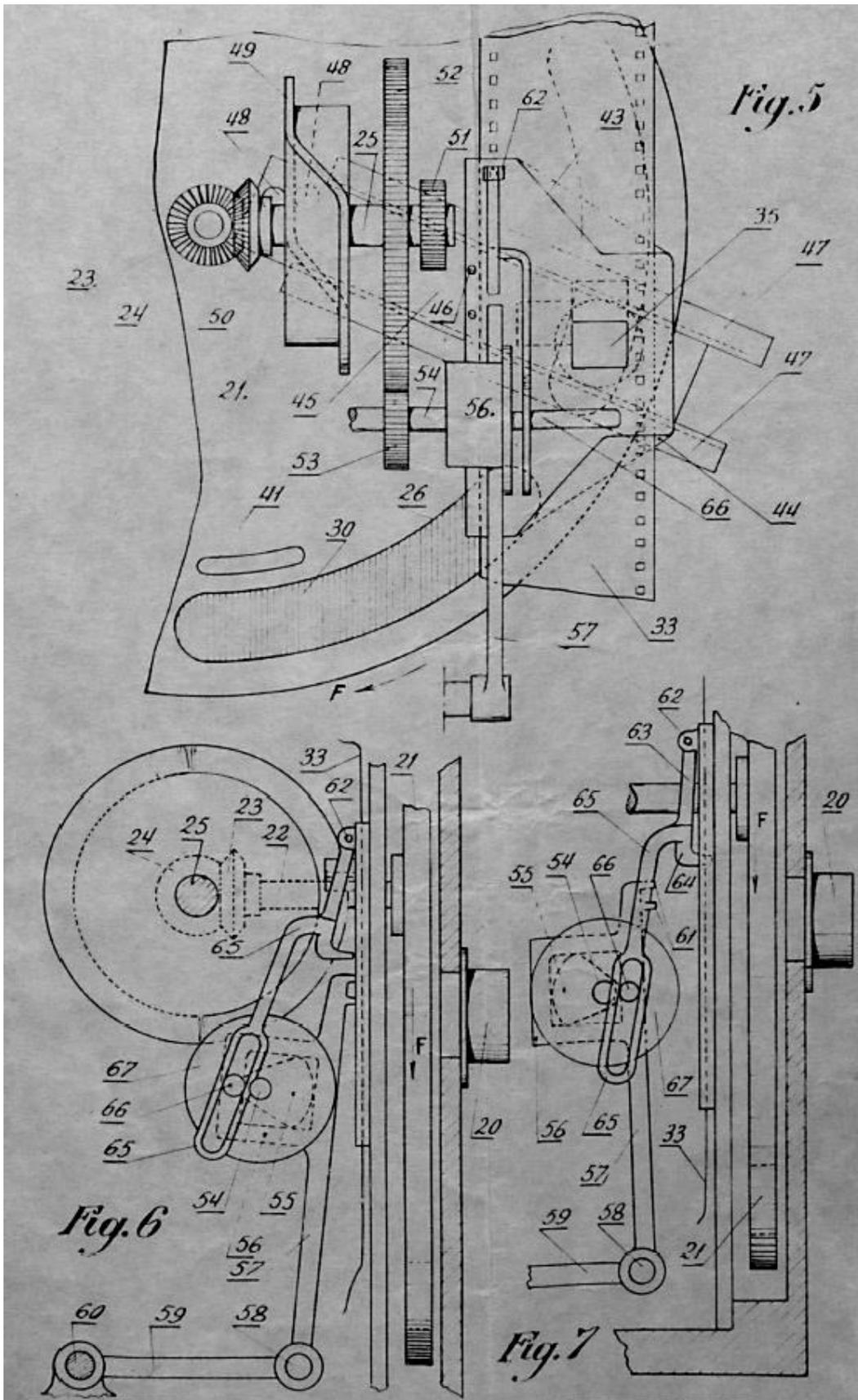


FIGURA 24_ILLUSTRAZIONE BREVETTO 8 GIUGNO 1931

capitolo 3 - Casiragli e il colore

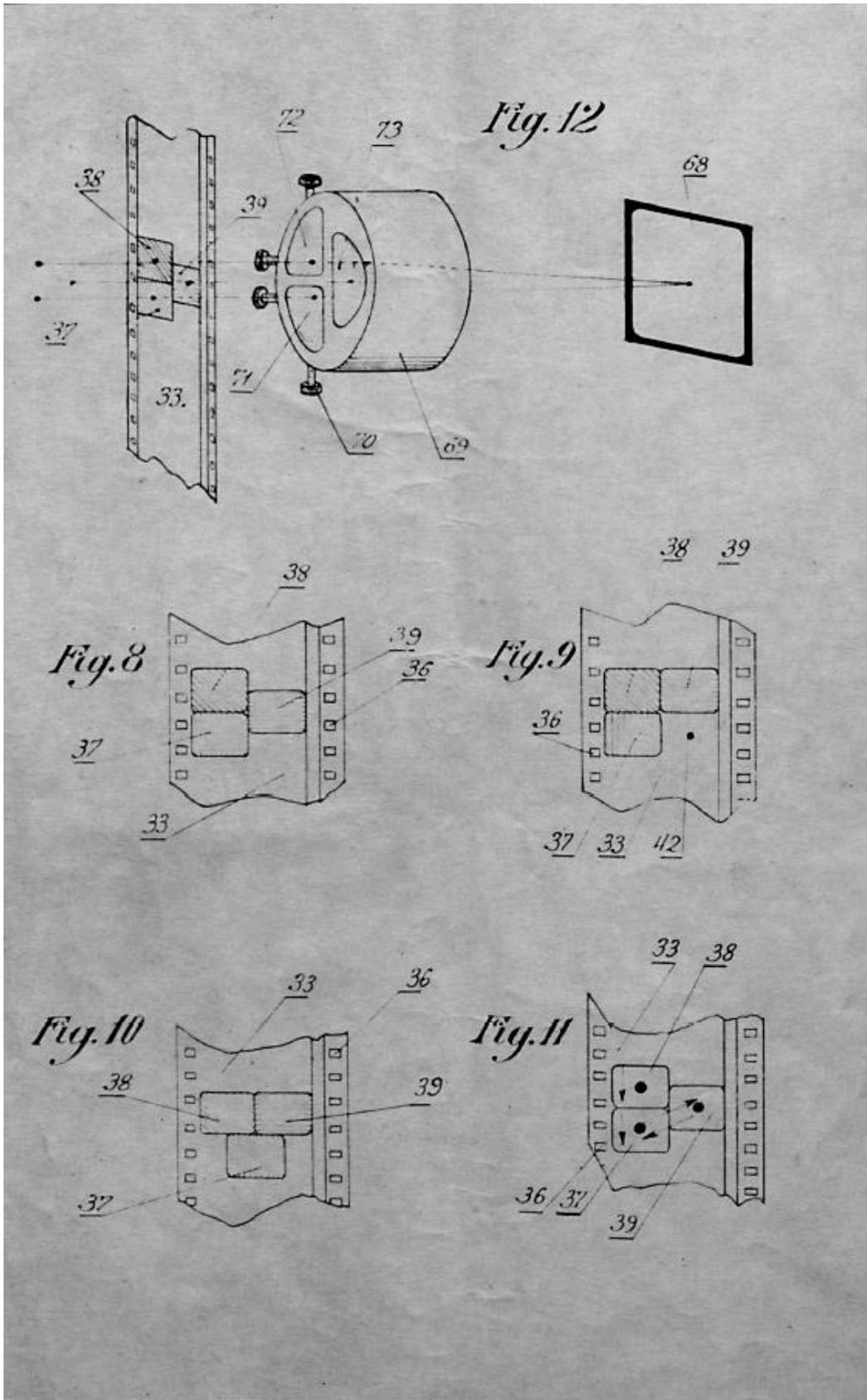


FIGURA 25_ILLUSTRAZIONE BREVETTO 8 GIUGNO 1931

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Come si vede dalle figure che vanno dalla 1 alla 7 (gli organi meccanici verranno indicati con i numeri utilizzati originariamente da Casiraghi nelle figure), l'invenzione è sostanzialmente un obiettivo (indicato col numero 20) dietro il quale gira, grazie all'azione di un meccanismo, un disco opaco (21), che risulta essere decentrato rispetto all'asse ottica, in modo tale che l'immagine passi attraverso i filtri (26, 27 e 28). Questi filtri, separati da intervalli (29), hanno la forma di un arco di cerchio con un'ampiezza angolare tale da riuscire ad impressionare la pellicola per un determinato intervallo di tempo.

Il meccanismo grazie al quale si muove il disco è descritto nelle figure 5 e 6, dove si vede che l'albero (25) trasmette il movimento all'ingranaggio di forma conica che è solidale al centro del disco (23).

Vedendo le figure dalla 1 alla 4 vediamo che il disco si muove lungo la direzione F, e nella prima la luce passa attraverso l'obiettivo (20), attraverso il filtro (26) per impressionare il sottofotogramma rosso (37), alto due perforazioni.

In figura 2 il processo procede: il disco continua a girare, arrivando a un punto dove l'intervallo tra i due filtri (29) si interpone tra l'obiettivo (20) e la pellicola (33); in questo momento l'esposizione alla luce rossa termina e il dispositivo descritto nelle figure 6 e 7 trascina la pellicola di due fori; alla fine di questo movimento, la luce inizia a passare attraverso la fessura (27). Il filtro (31) lascia passare solo i raggi verdi provenienti dal soggetto e il sottofotogramma (38) è impressionato. Il passaggio descritto in figura 2 è identico per l'impressione del fotogramma blu; con la differenza che la pellicola viene spostata longitudinalmente.

Quando la fessura (28) non è più situata sull'asse ottica dell'obiettivo il disco diventa un otturatore, in figura 4 si nota come i raggi luminosi presenti vengono schermati, ciò accade per un mezzo giro del disco (21) e durante questo periodo la pellicola viene spostata in modo da essere pronta per il prossimo fotogramma.

In queste figure si nota anche una piccola apertura (40), la cui posizione è studiata in modo tale che la luce passi attraverso un foro (41) e impressioni la pellicola in un punto preciso (42), ovvero nello spazio lasciato libero dai tre sottofotogrammi (qui

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Casiraghi non è preciso sulle dimensioni del foro e deve tener conto del possibile effetto di diffrazione della luce che ne può derivare).

Per evitare gli effetti di frange colorate tipici della parallasse temporale, Casiraghi impone che i sottofotogrammi vengano impressionati a intervalli di 1/500 di secondo, in modo tale che risultino quasi identici.

Nelle figure 6 e 7 viene descritto più nel dettaglio il procedimento di scorrimento verticale della pellicola, dove la camma (55) fa in modo di regolare i dentini (61), che servono per lo scorrimento, durante l'operazione di traslazione longitudinale infatti (visibile nella figura 7 nello specifico) i dentini (61) sono staccati rispetto alla pellicola, mentre il perno (64) la mantiene in posizione per l'impressione. La successiva fase invece è quella di trascinamento (visibile in figura 6), dove i dentini (61) spostano la pellicola in basso azionati dalla camma (55).

In fase di riproduzione (figura 12) i tre sottofotogrammi (37, 38 e 39) vengono proiettati grazie a una fonte luminosa; frontalmente alla pellicola è posto un obiettivo con i relativi filtri (71, 72 e 73), le viti (70) servono a muovere i filtri in modo da garantire una perfetta sovrapposizione delle immagini una volta proiettate contro lo schermo. Una lacuna fondamentale di queste macchine brevettate in Francia è la registrazione ottica del sonoro, Casiraghi descrive nel brevetto Bouju una banda deputata alla colonna sonora, ma non spiega nella pratica come esso venga registrato.

3.4 FASE ITALIANA

Una volta tornato in Italia Casiraghi abbandonò il metodo Francita, non rinunciando però ad ottenere il colore tramite sintesi additiva: spesse volte infatti bollò le tecniche sottrattive come “chimiche” o “artificiose”, mentre le tecniche additive ricostruivano il colore in maniera “fisica” e “naturalistica”; le tecniche che si sono affermate però, sono di tipo sottrattivo e le tecniche additive saranno costrette a morire, risorgendo però inaspettatamente con l'avvento del digitale. Al fine di comprendere quali erano questi meccanismi di ripresa del colore al cinema ai quali stava lavorando Casiraghi nel periodo 1936-1937 è utile leggere le interviste che rilasciò a vari giornali, facendo particolarmente attenzione a distinguere

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

l'informazione scientifica dalla propaganda fascista, sempre pronta ad elogiare pomposamente le invenzioni di un cittadino italiano.

La prima intervista è quella rilasciata al *Giornale di Genova* il 15 maggio 1936, dove l'intervistatore descrive le tecnologie esistenti all'epoca e dà una descrizione del metodo americano del Technicolor (storpiato in tutto il testo come *Thecnicolor*), sminuendone l'efficacia. Descritto erroneamente come *"procedimento chimico, film dipinto, applicabile in genere ai soli interni"*. È interessante leggere la descrizione della tecnologia di Casiraghi invece, che si basa ancora una volta sulla tricromia⁹ e sulla rappresentazione fisica dei colori su un supporto (ricordiamo che per rappresentazione fisica si intendeva rappresentazione fatta utilizzando la sintesi additiva, la sintesi sottrattiva era invece chiamata all'epoca rappresentazione chimica).

Si descrive un piccolo saggio delle capacità di questa cinepresa dato da Casiraghi stesso all'interno della sua villa: *"non c'è dubbio, si tratta di cinematografo autentico, dai movimenti rapidi, comuni a qualunque specie di film [...] i volti umani perdono finalmente quella tinta cotta, pesante, che tanto disturba negli esempi finora proiettati, per assumere la gradevole tinta chiara dell'epidermide naturale"*; questa precisione nella rappresentazione della pelle umana è segno di un utilizzo corretto della tricromia, dato che l'imperfetta registrazione di un canale avrebbe dato una gradazione verdognola facile da osservare. I movimenti rapidi inoltre sono ben rappresentati solo da una cinepresa che non commette errori di parallasse.

Vitale Casiraghi stesso scrive un articolo per il giornale *Villa Olmo* tra il settembre e l'ottobre del 1936, dove scrive chiaramente: *"la cinematografia a colori vuole tre fotogrammi presi sul medesimo asse ottico, simultanee e selettive"*. Dopo aver citato il Technicolor (stavolta più onestamente, senza criticare la bassa qualità, ma soltanto i costi produttivi) viene descritta un'evoluzione del sistema Francita, che secondo l'inventore aveva il problema di essere poco adattabile alle grandi sale data la dimensione piccola dei fotogrammi.

⁹ Ciò era un punto di forza della tecnologia Casiraghi rispetto al Technicolor bicromatico; nell'intervista viene citato come esempio il film *La Maschera di Cera* del 1933, che venne in effetti girato col vecchio sistema del Technicolor bicromatico; ciò avvenne tuttavia solo perché era stato firmato un contratto tra Warner Bros. e Technicolor che imponeva l'utilizzo di questa tecnologia per un certo numero di film.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

La nuova tecnologia si basa sull'ottenere tre fotogrammi simultanei nel medesimo asse ottico, che hanno dimensioni regolari; gli inconvenienti di quest'idea vengono descritti da Casiraghi stesso, ovvero la difficoltà di imporre un nuovo standard, dato che i produttori avrebbero dovuto comprare le nuove cineprese, ma anche gli esercenti avrebbero dovuto comprare i proiettori. Il diagramma illustrativo del filtro di proiezione è veramente molto simile al filtro della macchina da proiezione presente al Museo del Cinema, che potrebbe essere il prototipo di questo sistema di riproduzione di colori detto "Tricromich".

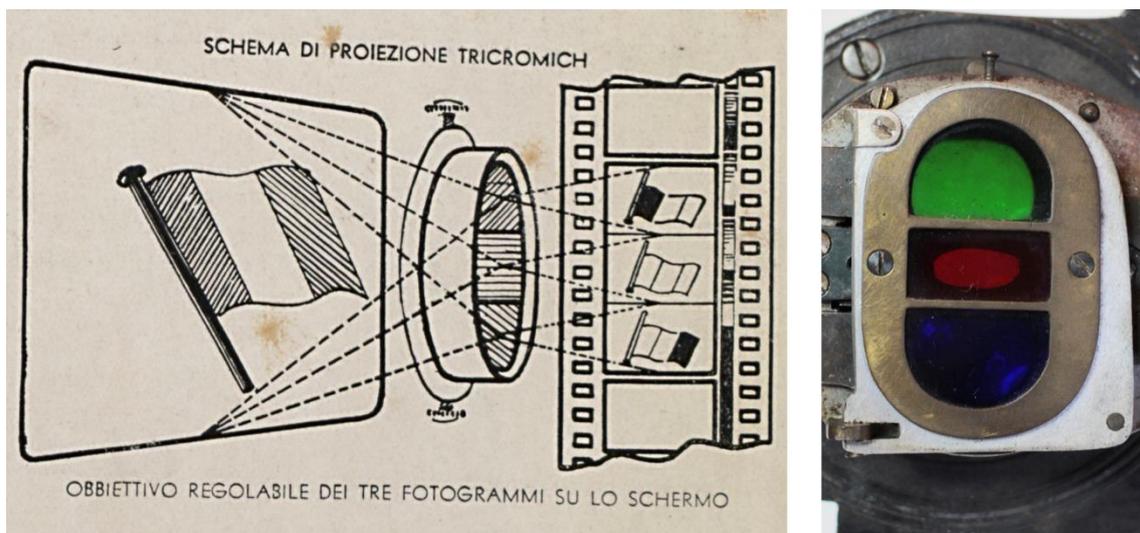


FIGURA 26_CONFONTO TRICROMICH/PROIETTORE

Il numero del *Corriere della Sera* del 5 Novembre 1937, dopo un articolo di Curzio Malaparte che esalta la grandezza di Roma, fa un riassunto delle tecnologie italiane presenti all'epoca per riprendere il colore, tra le quattro elencate è sempre presente quella di Casiraghi; dopo essere state elencate le limitazioni del metodo Francita del 1931 si cita il nuovo sistema che rappresenta il colore in maniera tricromatica, anziché posizionare i fotogrammi nello spazio destinato a un fotogramma classico, li si posiziona in due (otto perforazioni), in modo da contrastare il problema dell'ingrandimento dell'immagine.

La rivista *Cinema*, redatta dal figlio di Benito Mussolini, dedica un articolo dell'edizione di Natale del 1937 all'inventore di Camogli; il processo descritto è sempre il medesimo, tre fotogrammi parziali, ognuno rappresentante un canale

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

della tricromia, che si trovano posizionati in successione, alti i tre quarti di un fotogramma tradizionale.

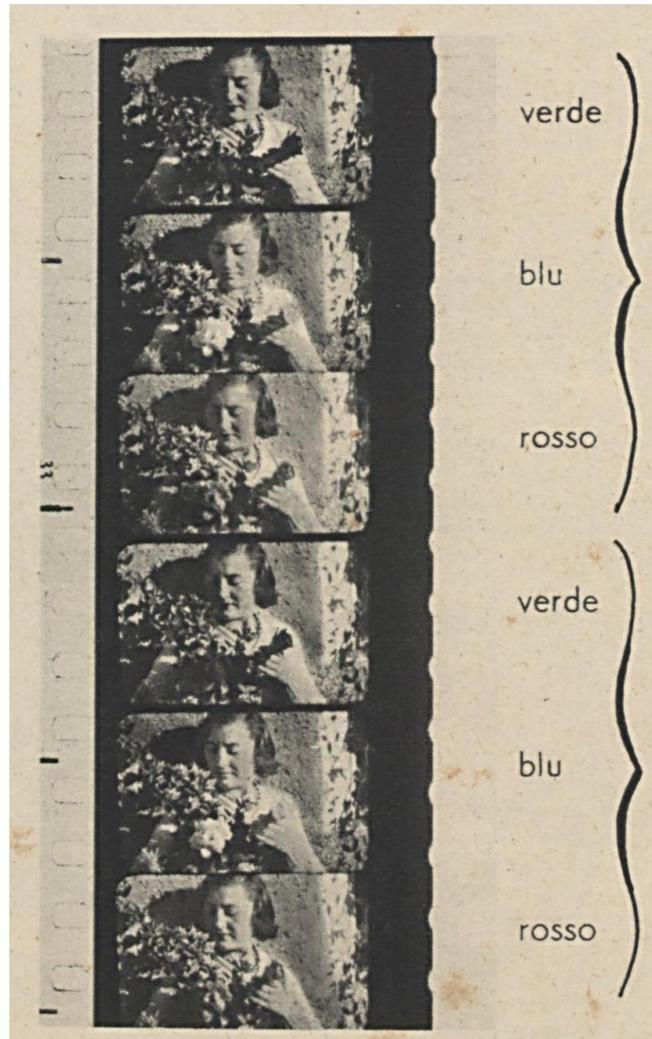


FIGURA 27_TRICROMIA DESCRITTA NELL'ARTICOLO DI CINEMA (25/12/1936)

Un prisma spezza il fascio di luce in tre parti che vengono riunite grazie al prisma inverso in fase di riproduzione; Casiraghi dice che il suo sistema è un miglioramento rispetto ai sistemi additivi degli anni 10 in quanto: *“nel procedimento Gaumont c’era un errore di sovrapposizione tra i primi piani e gli infiniti, il mio sistema non genera errore, né nel primo piano né all’infinito e le mie immagini si sovrappongono integralmente senza lasciare frange colorate”*.

L’articolo che in questo giornale precede il pezzo su Casiraghi sembra essere profetico: è intitolato *Film Plastico* e descrive cos’è il cinema stereoscopico dell’epoca.

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

3.5 CONCLUSIONI: PROBLEMATICHE RELATIVE ALLA RAPPRESENTAZIONE DEL COLORE.

Nei capitoli 2 e 3 abbiamo fatto un lungo excursus sulle tecnologie di ripresa atte a riprodurre il colore al cinema e abbiamo analizzato a fondo le tecnologie sviluppate da Vitale Casiraghi per ottenere lo stesso risultato.

Possiamo riassumere i dubbi sorti sull'ipotesi che la cinepresa che stiamo analizzando avesse come scopo la realizzazione di riprese a colori:

- Il proiettore che dovrebbe essere il gemello della cinepresa e dovrebbe proiettare le riprese ha una tecnologia con un filtro a tre colori, mentre la cinepresa ne utilizza soltanto due; leggendo le interviste siamo anche riusciti a trovare una descrizione possibile della tecnologia sulla quale si fonda il proiettore (il Tricromich).
- Abbiamo dimostrato che nel periodo in cui Casiraghi sviluppava la cinepresa in esame, le tecnologie per la ripresa dei colori erano molto avanzate rispetto a un sistema a due colori, strada che era stata già abbandonata tanto tempo prima.
- Casiraghi in tutti i suoi brevetti dove descrive le sue invenzioni non ha mai utilizzato la bicromia, nemmeno nei suoi brevetti più vecchi, conoscendo i possibili errori che ne potevano derivare.
- L'inventore era consapevole che una cinepresa che registrava i canali diversi da due punti di vista differenti creava un problema di frange molto fastidioso, aveva commesso questo errore nei primi esperimenti sul colore, ma in seguito criticò le sue stesse idee e non utilizzò mai più tecnologie simili.

Nei prossimi capitoli affronteremo invece il mondo della ripresa stereoscopica, analizzando la macchina di Vitale Casiraghi sotto una nuova luce.

capitolo 4 – principi del 3D

4.1 INTRODUZIONE

L'etimologia del termine stereoscopia è molto chiara: deriva dalle parole greche στερεός (steréo), spazio, e σκοπία (scopia), osservazione; letteralmente quindi significa osservazione nello spazio. La stereoscopia è quindi il meccanismo grazie al quale alcuni animali (non tutti percepiscono la tridimensionalità dell'ambiente, i primati sono alcuni di questi) percepiscono la profondità delle scene.

Per poter quindi descrivere da un punto di vista tecnologico la visione binoculare (da distinguere dalla visione bioculare di certi animali) occorre partire dalla fisiologia dell'apparato visivo umano, concentrandoci in particolar modo sullo studio dei meccanismi psico-fisici che ci permettono di avere informazioni sulla tridimensionalità del mondo.

capitolo 4 – principi del 3D

4.2 STEREOSCOPIA COME FUSIONE DI DUE IMMAGINI

Lo studioso Claude Alley Worth descrisse già nel 1903 le tre fasi del processo di visione binoculare umano: la percezione simultanea, la fusione e, infine, la stereopsi.

Nella prima fase di percezione simultanea, i due occhi registrano due immagini in modo indipendente, ma in contemporanea, dell'ambiente circostante, è la cosiddetta fase bioculare. Il bulbo oculare è capace di adattarsi rapidamente ai cambiamenti di luminosità grazie all'azione dell'iride che può dilatarsi o restringersi, ma soprattutto è capace di ruotare grazie a dei muscoli, detti muscoli estrinseci, allo scopo di puntare lo sguardo in maniera diretta verso l'oggetto di interesse.

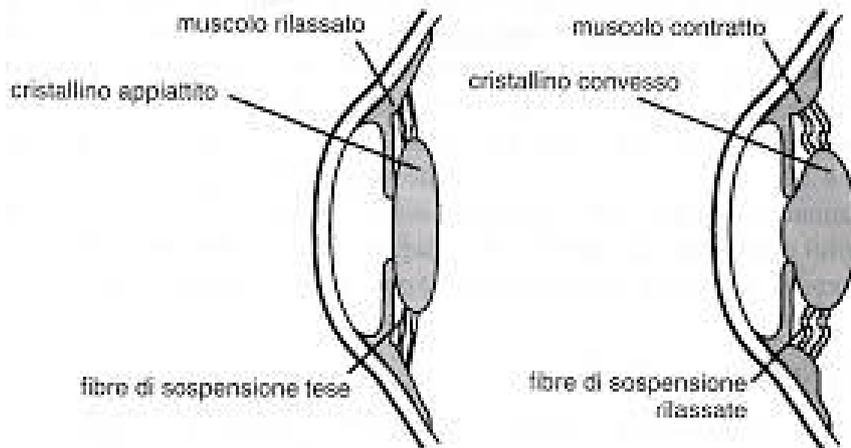


FIGURA 28_FUNZIONAMENTO DEL CRISTALLINO E DEI MUSCOLI AD ESSO CONNESSI

Questo meccanismo detto di convergenza oculare è fondamentale, infatti maggiore sarà la distanza dal punto osservato, minore sarà la contrazione richiesta e più rilassante risulterà la visione; all'opposto invece, se il punto di interesse è vicino, la contrazione muscolare aumenterà, creando fastidio o addirittura dolore nei casi estremi.

capitolo 4 – principi del 3D

Un altro meccanismo che avviene durante la visione è la messa a fuoco di un soggetto, questo processo è definito *accomodazione*. E' importante sapere che convergenza e accomodazione sono separati, anche se noi siamo abituati al coordinamento di questi processi, ogni sforzo che ci spinge oltre questa sincronia può creare una sensazione di affaticamento¹.

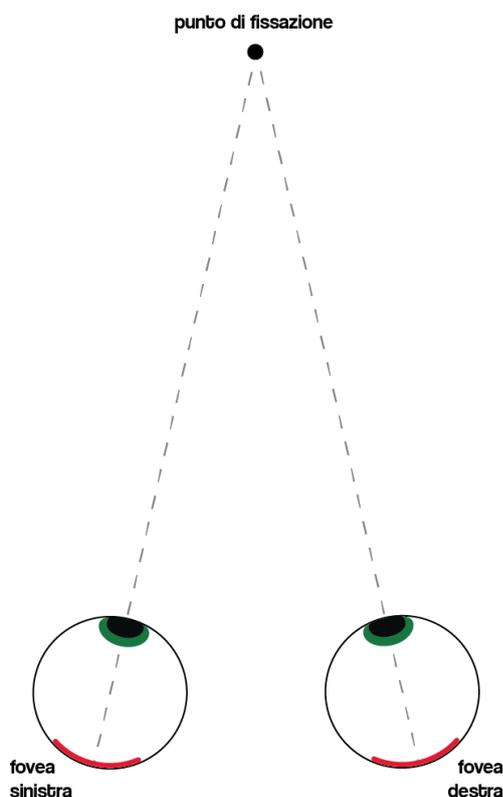


FIGURA 29_INTERAZIONE TRA LE FOVEE DEI DUE OCCHI E IL PUNTO DI FISSAZIONE

Fondamentali per la focalizzazione dell'immagine sul punto scelto sono i muscoli intrinseci, deputati alla modificazione della forma del cristallino; questo infatti può restringersi o inspessirsi, permettendo di far convergere sulla fovea la luce proveniente da oggetti posizionati più vicino o più lontano rispetto all'osservatore. La fovea è la regione della retina dove sono presenti i coni, che essendo più recettiva, riesce a dare le giuste informazioni al cervello. Il punto dello spazio che viene messo a fuoco nelle fovee è detto *punto di fissazione*.

¹ Un test che fa capire questa sensazione di affaticamento può essere quello di porre un dito davanti agli occhi, fissandone la punta, facendo avvicinare il dito verso la punta del naso. A un certo punto i due processi di convergenza e accomodazione perdono la sincronia e si ha una sensazione di fastidio.

capitolo 4 – principi del 3D

Quando le due fovee vengono stimulate dalla stessa immagine, il cervello procede con la fase di fusione, il secondo stadio della visione di Worth, grazie al quale le immagini vengono unite. In questa fase i due occhi agiscono in maniera coordinata, gli assi oculari si allineano grazie all'azione dei muscoli estrinseci e le due immagini rimangono stabili, permettendo all'apparato oculare di avere una percezione continua del mondo esterno; se gli occhi non riescono a fondere le due immagini la conseguenza è quella della visione doppia (diplopia²).

Il terzo stadio del processo di Worth è quello di stereopsi, il fulcro dell'intero meccanismo di visione stereoscopica, dove la visione bioculare si trasforma definitivamente in visione binoculare; grazie alla disparità tra le due immagini infatti il cervello ricostruisce la profondità: dato un oggetto osservato dai due occhi e considerando la distanza che esiste tra di essi³ (distanza interoculare), l'oggetto verrà osservato nel suo lato sinistro dall'occhio sinistro e nel suo lato destro dall'occhio destro. Queste informazioni sono sufficienti per innescare la stereopsi.

Nella corteccia prefrontale sono presenti dei neuroni il cui compito è proprio quello di fondere le due informazioni in un unico oggetto, riescono infatti a riconoscere le forme e i punti in comune in modo tale da dare un'immagine che sia la ricostruzione precisa dell'oggetto tridimensionale.

La funzione primaria della stereopsi è quella di riuscire a percepire il proprio corpo nello spazio, questo meccanismo detto *propriocezione* è possibile grazie a specifici recettori, detti cinestetici (o propriocettivi per l'appunto), che grazie ai dati di convergenza oculare e ai dati sull'equilibrio che provengono dall'orecchio interno, ricostruiscono la posizione del corpo all'interno dello spazio. Dato che la capacità di percezione è inversamente proporzionale alla distanza col punto di fissazione, guardando un punto molto lontano abbiamo sempre meno consapevolezza della nostra posizione nello spazio.

² La diplopia può essere causata da un trauma, da strabismo, o da altre cause neurologiche.

³ La distanza interoculare media umana è di circa 65mm.

capitolo 4 – principi del 3D

4.3 MODALITA MONOCULARI DI PERCEZIONE DELLO SPAZIO

Non tutti gli esseri umani sono capaci di attivare il meccanismo della stereopsi, infatti circa l'8% della popolazione⁴ ha dei danni o dei malfunzionamenti cerebrali che non permettono ciò, non significa che non siano capaci di percepire la profondità di campo: esistono infatti altri principi grazie al quale il cervello ricostruisce lo spazio attorno a se.

Il principale meccanismo grazie al quale il cervello valuta la profondità in maniera monoscopica è quello della dimensione dell'immagine sulla retina, banalmente, più l'immagine di un oggetto è piccola, più esso sarà distante da noi; questo viene utilizzato per valutare la distanza che intercorre, ad esempio, tra due oggetti che noi, grazie all'esperienza, sappiamo essere di dimensioni simili.

Un secondo approccio di valutazione è l'interposizione: quando un oggetto ha il suo contorno interrotto da un altro oggetto, viene percepito come posizionato posteriormente ad esso, grazie a questo approccio la tridimensionalità è stata rappresentata nell'arte pittorica. Quest'ultima si è servita anche delle regole della prospettiva lineare allo stesso scopo: all'aumentare della distanza le forme degli oggetti tendono a convergere verso un determinato punto, detto punto di fuga, che risulta essere il fulcro dell'intera scena.

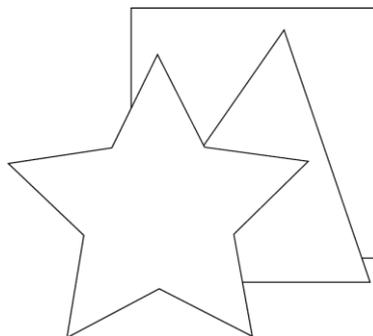


FIGURA 30_INTERPOSIZIONE

⁴ Lenny Lipton, *Foundations of the Stereoscopic Cinema, A study in depth* pag.26, Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

capitolo 4 – principi del 3D

La prospettiva aerea, invece, differisce da quella lineare (ma anch'essa venne sfruttata in pittura, dagli Impressionisti ad esempio), per il fatto che le distanze vengono percepite come variazioni di colore. L'aria presente in atmosfera infatti non è del tutto trasparente; gli oggetti a lunghe distanze quindi tendono ad avere contorni più sfumati e ad assumere tonalità differenti, se nell'aria è presente umidità, l'acqua farà virare l'oggetto in secondo piano verso le tonalità bluastre, mentre se siamo in città, dove è presente molto inquinamento, le tonalità degli oggetti distanti vireranno verso le tonalità del marrone.



FIGURA 31_ESEMPIO DI PROSPETTIVA AEREA

Il cervello umano inoltre, è capace di capire che a una certa distanza l'occhio non percepisce più la texture di molti oggetti e la loro consistenza, man mano che l'oggetto si allontana quindi, i dettagli si fanno meno evidenti.

Il meccanismo monoculare più avanzato è sicuramente quello della parallasse di movimento (che deriva dall'osservazione astrale), utilizzato in maniera sistematica dal cinema tradizionale; se noi ci muoviamo e osserviamo una scena statica ci rendiamo conto che gli oggetti più vicini avranno un moto apparente che ci sembra più veloce rispetto a quello degli oggetti più lontani, questo è dovuto al fatto che nella stessa unità di tempo gli oggetti più vicini si saranno spostati di tanto sulla nostra retina, mentre quelli più lontani sembreranno praticamente fermi; il cervello elabora queste informazioni per garantire la percezione della profondità.

capitolo 4 – principi del 3D

4.4 STEREOPSI E OROPTERO

In condizioni normali nella maggior parte degli individui il meccanismo della stereopsi si innesca tranquillamente. Solo una parte limitata dell'immagine, relativa all'oggetto osservato e agli oggetti in prossimità di esso, viene interpretata come uguale da entrambi gli occhi; il resto dell'immagine infatti è percepita come doppia e quindi è sfocata. In tanti hanno provato a definire l'area di spazio fisico che l'essere umano è capace di percepire con il processo di fusione e stereopsi.

Euclide, nei suoi *Trattati sull'Ottica*, parla del problema del vedere una sfera con due occhi. Mostrò che se una persona guarda una sfera il cui diametro sia maggiore della distanza interoculare, allora una parte inferiore a una semisfera sarà visibile.

Galeno, il famoso fisico greco, pubblicò *Sull'uso delle parti del corpo umano* nel secondo secolo d.C, fu lui a dare la prima descrizione della diversa prospettiva tra occhio destro e occhio sinistro:

“Stando vicino a una colonna e chiudendo uno dei due occhi in successione, quando l'occhio destro è chiuso, alcune parti della colonna che prima venivano viste dall'occhio destro sulla parte destra della colonna verranno viste dall'occhio sinistro, quando l'occhio sinistro è chiuso, alcune delle parti che venivano viste dall'occhio sinistro sulla parte sinistra della colonna verranno viste dall'occhio destro”⁵

Dal Rinascimento in poi, grazie agli studi sulla prospettiva, la conoscenza del funzionamento della visione aumentò, uno studioso che investì molto tempo in questo fu Giovanni Keplero, arrivando a teorie molto particolari; Keplero infatti immaginò che dei raggi mentali partissero dall'occhio in linee dritte verso il mondo circostante: gli oggetti vengono percepiti come singoli se l'oggetto si trova all'intersezione tra due raggi mentali.

Fu il gesuita Francois d'Aguilon (o Aguillonius), a proporre nel 1613, nel trattato *Opticorum libri*, il primo concetto di *oroptero*, che grazie a studi successivi venne definito come l'insieme dei punti nello spazio, visti dai due occhi, che vengono percepiti come singoli. In altre parole, un oggetto ricadente nella linea dell'oroptero

⁵ Lenny Lipton, *Foundations of the Stereoscopic Cinema, A study in depth* pag.18, Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

capitolo 4 – principi del 3D

viene registrato come singolo; la formulazione di questo concetto significò che tutti gli oggetti non ricadenti nell'oroptero fossero percepiti come doppi.

La forma geometrica dell'oroptero è una circonferenza e questo tipo di oroptero è detto oroptero geometrico, un passo avanti è stato fatto da Charles Wheatstone, che stabilì che l'area all'interno della quale il mondo viene percepito col meccanismo della stereopsi è in realtà maggiore. Basandosi sugli studi di Wheatstone e approfondendoli, Peter L. Panum osservò che la fusione tra le immagini avveniva anche se l'oggetto non stimolava la stereopsi in maniera geometricamente perfetta, la cosiddetta area fusionale di Panum è la zona limitrofa al punto di fissazione che lo spettatore riesce a percepire binocularmente (che risulta essere molto maggiore del semplice oroptero).

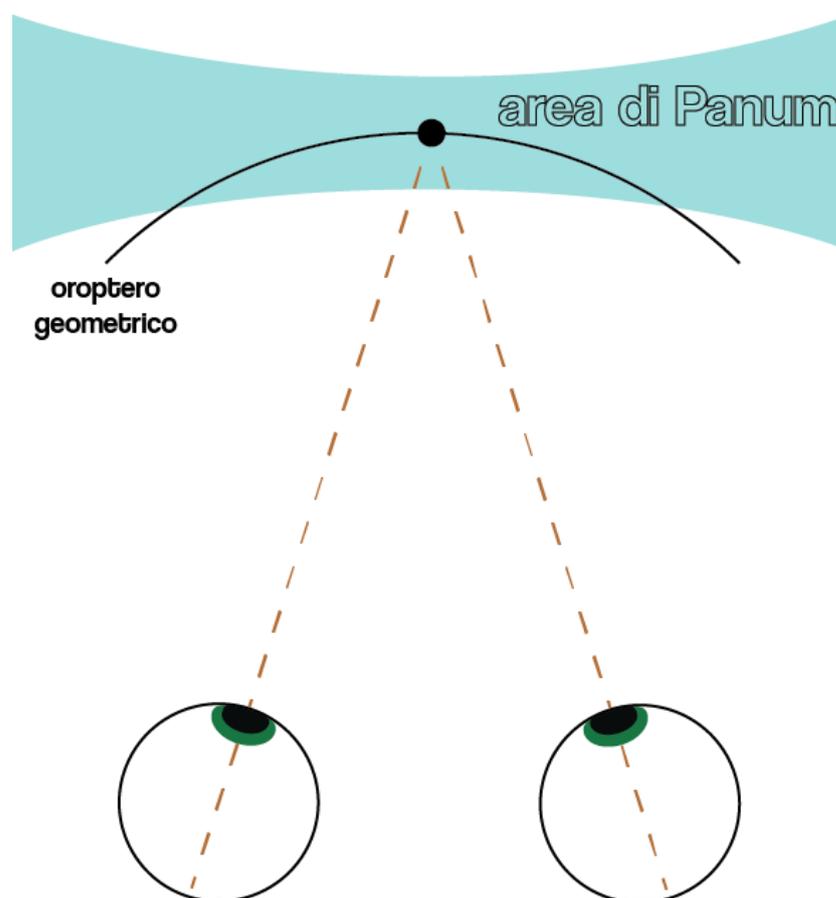


FIGURA 32_OROPTERO E AREA DI PANUM

Ciò che si trova al di fuori dell'area di Panum non viene percepito come unico (diplopia), il cervello umano però riesce a percepire il mondo come unico, in quanto la diplopia è un processo fondamentalemente subliminale.

capitolo 4 – principi del 3D

Esistono due tipi di diplopia: quella *crociata* è quella che caratterizza gli oggetti presenti tra gli occhi e il punto di fissazione, quella *omonima* invece è l'area tra il punto di fissazione e l'infinito.

La percezione della profondità ha però un limite, dovuto al punto di fissazione scelto dall'osservatore, a grandi distanze infatti i due occhi praticamente non convergono e la stereopsi diventa impossibile, da lì in poi il cervello umano analizza la scena facendo considerazioni di carattere monoscopico. Considerando la distanza interoculare media, la convergenza oculare e il posizionamento dei coni sulla cornea, la distanza oltre la quale non avviene più stereopsi è intorno ai 30m⁶.

4.5 LA STEREOPSI INDOTTA IN MANIERA ARTIFICIALE

La visione binoculare può essere riprodotta in maniera artificiale quindi, l'illusione della profondità non esistente è data dalla fusione di due immagini che presentano una certa disparità. Ciò è possibile perché i meccanismi di convergenza dei due occhi e di messa a fuoco (accomodazione) dell'immagine sono indipendenti; ciò non significa che i due processi non siano legati, anzi, i due processi si influenzano a vicenda. Nella vita di tutti i giorni la messa a fuoco e la convergenza mirano ad uno stesso punto, ma la maggior parte delle persone è capace di separare i due processi; ogni sforzo che ci spinge oltre la tipica coordinazione (che si chiama risposta muscolare di accomodazione/convergenza) può creare una sensazione di affaticamento; se si va oltre i limiti del sopportabile, l'individuo scinde i due comportamenti e possono capitare due cose: o si perde l'accomodamento e si vedono due immagini ben fuse, ma sfocate, oppure si perde la fusione delle due immagini e se ne vedono due distinte, perfettamente a fuoco (ci si può rendere conto di questo comportamento osservando la punta di un dito e avvicinandolo verso di noi, fino a quando non avviene una delle due cose dette in precedenza).

Questa capacità è fondamentale per la visualizzazione del 3D artificiale, in quanto gli occhi convergono verso il punto dove è presente l'immagine apparente, mentre

⁶ Luca Gonnelli, Ilenia Notarangelo, *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte*, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

capitolo 4 – principi del 3D

il meccanismo di accomodazione, portato avanti dal cristallino, fa in modo che lo schermo sia sempre a fuoco.

Se i due processi non fossero indipendenti non sarebbe possibile indurre la stereopsi in maniera artificiale, infatti il cervello avendo di fronte un conflitto sarebbe costretto o a percepire un'unica immagine sfocata o due immagini perfettamente a fuoco, ma doppie.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

5.1 INTRODUZIONE

Come abbiamo illustrato nel capitolo 4, grazie a movimenti dei muscoli estrinseci del bulbo oculare, l'occhio umano è capace di percepire la profondità di campo di una scena; ciò avviene soprattutto grazie al lavoro del cervello, che interpreta le informazioni provenienti dalla fovea, selezionando la quantità d'informazione necessaria per processare la scena. Quando osserviamo un oggetto che è molto ravvicinato rispetto a noi, il cervello elimina le informazioni inutili, tenendo solo quelle relative all'oggetto stesso.

La camera non ha questa possibilità, riprende la scena immagazzinando tutta l'informazione; non ha la capacità quindi di capire cosa è fondamentale e cosa è

capitolo 5 – la tecnica del 3D

superfluo. Il suo FOV¹ inoltre è notevolmente inferiore rispetto a quello umano; è necessario quindi stabilire in partenza l'inquadratura, la porzione di spazio che si ritiene fondamentale riprendere per poter mandare avanti la storia. Nel campo della stereoscopia quindi, sono tante le variabili che vanno decise in fase di progettazione della scena. In questo capitolo affronteremo un'analisi di questi parametri che è necessario conoscere per poter riprendere una scena, approfondendo inoltre le tecniche utilizzate per la fruizione del materiale così ottenuto. In questo modo si potrà poi analizzare come la macchina di Casiraghi sviluppa questi aspetti.

5.2 INGRANDIMENTO DI IMMAGINE E DI OGGETTO

Ogni camera, esattamente come fa l'occhio umano, rimpicciolisce la scena, proiettandola su uno spazio più piccolo (che nel caso dell'occhio è la dimensione della retina e nel caso della cinepresa è la dimensione della pellicola o del sensore). In fase di riproduzione la scena viene riallargata per ottenere una dimensione maggiore.

C'è una distinzione molto importante tra ingrandimento di immagine M e ingrandimento di oggetto m . L'ingrandimento di immagine è definito come il rapporto tra l'altezza (o larghezza) dello schermo e l'altezza (o larghezza) del fotogramma:

$$M = \frac{A_s}{A_f} = \frac{L_s}{L_f}$$

L'ingrandimento di oggetto invece è il rapporto tra l'altezza (o larghezza) dell'oggetto ripreso e l'altezza (o larghezza) dell'immagine dell'oggetto:

$$m = \frac{A_o}{A_i} = \frac{L_o}{L_i}$$

I film vengono generalmente proiettati su schermi che hanno valori di M che variano da 150 a 500. I film in formato super 8, proiettati su uno schermo largo un metro hanno un ingrandimento di immagine di circa 180; lo stesso valore lo abbiamo su una pellicola 35mm proiettata su uno schermo di quattro metri. La pellicola 35mm

¹ Field Of View (campo visivo).

capitolo 5 – la tecnica del 3D

è diventata uno standard proprio perchè garantisce valori di M non troppo elevati (che porterebbero a una qualità dello spettacolo inferiore) su schermi di grandi dimensioni, perfetti per i grandi cinema.

L'immagine di una persona alta 1,5m proiettata a figura intera, con la testa e i piedi che toccano i bordi dell'immagine, su uno schermo largo 1m (alto 0,75m in formato 4:3), avrà un ingrandimento di oggetto pari a $\frac{1}{2}$, ma la stessa immagine proiettata su uno schermo largo 4m avrà un ingrandimento di oggetto pari a 2. I film in formato super 8 vengono di solito proiettati su schermi che sono un quarto o un decimo rispetto a quelli standard; l'ingrandimento di oggetto sarà molto inferiore, ma quello di immagine sarà più o meno lo stesso.

5.3 PARALLASSE

Il termine parallasse deriva dal greco *παράλλαξις* (*parállaxis*), che letteralmente significa accavallamento, in generale indica la differenza che esiste tra due osservazioni della stessa scena fatte da due punti di vista differenti. In astronomia la parallasse viene utilizzata per determinare la distanza di corpi celesti che non sono troppo lontani dalla Terra; nell'ambito della cinematografia stereoscopica invece, la parallasse indica le differenze che esistono tra immagine destra e sinistra, che contengono tutte le informazioni relative allo spazio tridimensionale utili a creare l'illusione della profondità. E' necessario che le due riprese vengano effettuate da due punti che stanno sullo stesso asse orizzontale; è fondamentale, al contrario, evitare qualunque forma di parallasse verticale, che crea una sensazione di fastidio, dovuta al fatto che in natura i nostri occhi sono posizionati alla stessa altezza. In ottica e in trigonometria, la parallasse viene indicata come un valore angolare, in ambito stereoscopico tuttavia, spesse volte la si indica come distanza lineare, che dipende dalle dimensioni del supporto di registrazione e dalle dimensioni dello schermo.

La parallasse è la variabile responsabile dell'effetto tridimensionale, aumentando il discostamento tra le immagini infatti, l'effetto di tridimensionalità sarà più accentuato; tuttavia esistono dei limiti oltre i quali la visione diventa problematica. E' possibile distinguere varie tipologie di parallasse in base alla distanza che esiste

capitolo 5 – la tecnica del 3D

tra i punti omologhi di una coppia di immagini stereoscopiche (i punti omologhi sono i punti che si ottengono andando a tracciare le due diagonali dei fotogrammi e andandone a prendere il punto di incontro, proiettato sullo schermo); andiamo nel dettaglio, analizzando i vari casi nella pratica:

In figura 33 i punti destro e sinistro coincidono e la parallasse è zero (parallasse neutra), l'occhio destro e il sinistro convergeranno quindi su un punto dello schermo e l'oggetto proiettato verrà percepito dal cervello umano come posizionato sul piano sul quale giace lo schermo, quando la parallasse è vicina allo zero gli effetti di ghosting² sono minimi in quanto l'immagine di ghosting coincide con l'oggetto stesso, in questo caso si vedrà bene l'oggetto anche senza occhiali 3D.

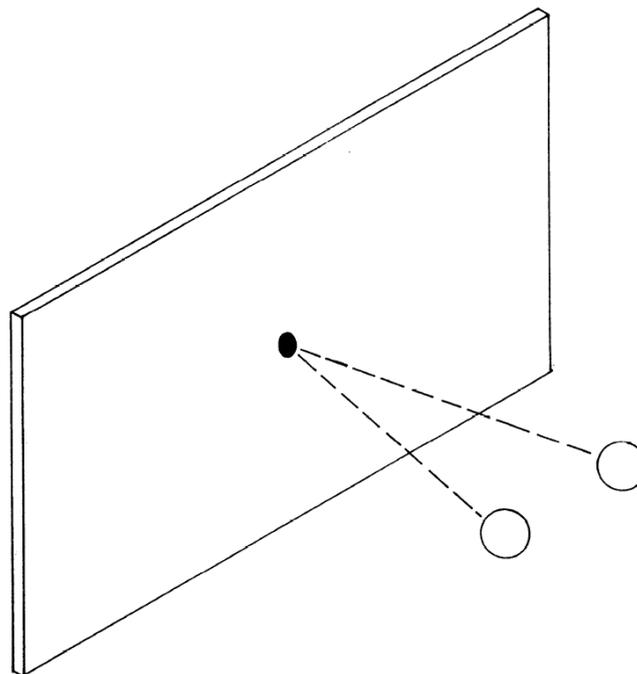


FIGURA 33_ESEMPIO DI PARALLASSE ZERO

² L'effetto di ghosting è una replica di una parte dell'immagine trasmessa, spostata nella direzione, ma sovrapposta, sullo schermo, al nuovo fotogramma, la quale crea un tipico effetto di scia molto fastidioso.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

La figura 34 invece mostra un caso di parallasse positiva (o non incrociata) con un valore uguale alla distanza interoculare media, in natura questo avviene quando l'oggetto è posto molto lontano, vicino all'infinito (mediamente una persona non percepisce più la profondità se gli oggetti si trovano a più di 1341m, questo dato può variare per soggetti che hanno una distanza interoculare maggiore della media³), gli oggetti che hanno una parallasse di schermo positiva risulteranno essere dietro lo schermo, più il valore si avvicina alla distanza interoculare più sembreranno distanti.

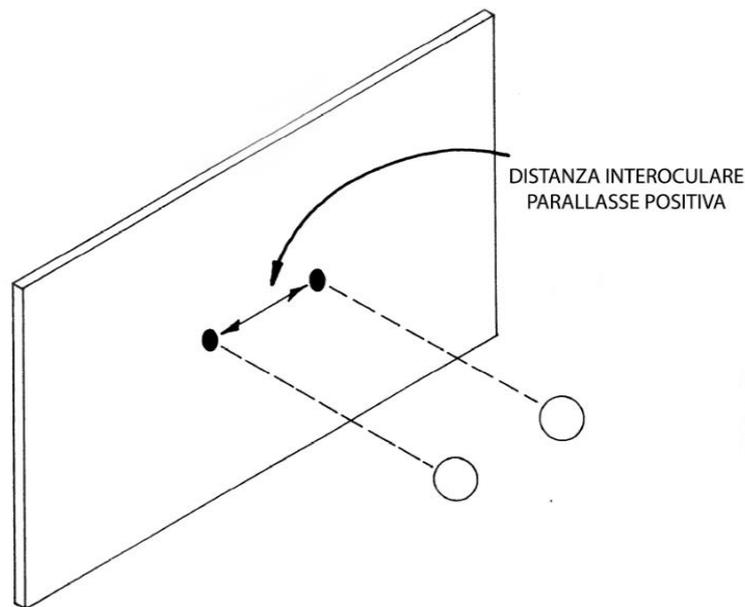


FIGURA 34_PARALLASSE POSITIVA (IN QUESTO CASO UGUALE ALLA DISTANZA INTEROCULARE)

La figura 35 mostra un caso di parallasse negativa (o incrociata) con modulo uguale alla distanza interoculare, in questo caso l'oggetto apparirà come se fosse posto anteriormente, a metà distanza tra schermo e spettatore. L'utilizzo di parallasse positiva o negativa è a discapito del regista, sapendo che più gli oggetti saranno percepiti come vicini dallo spettatore, più si sentirà coinvolto, ma ricordando anche che uno spettacolo dove l'effetto stereoscopico è troppo invadente sarà percepito come pesante dallo spettatore.

³ Lenny Lipton, *Foundations of the Stereoscopic Cinema, A study in depth* pag. 108, Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

capitolo 5 - la tecnica del 3D

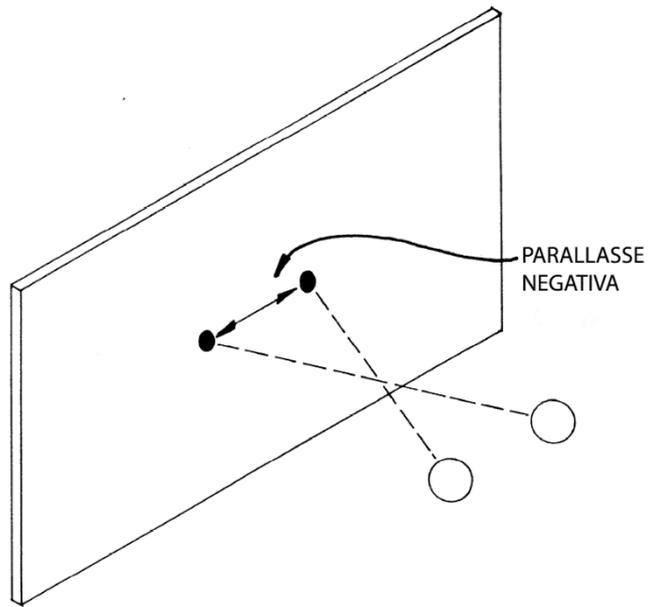


FIGURA 35_PARALLASSE NEGATIVA

Nel quarto caso abbiamo una situazione simile al caso 2, con la differenza che la parallasse è superiore alla distanza interoculare, questo in natura non avviene mai, gli occhi sono costretti infatti a divergere per fondere le due immagini, l'effetto che

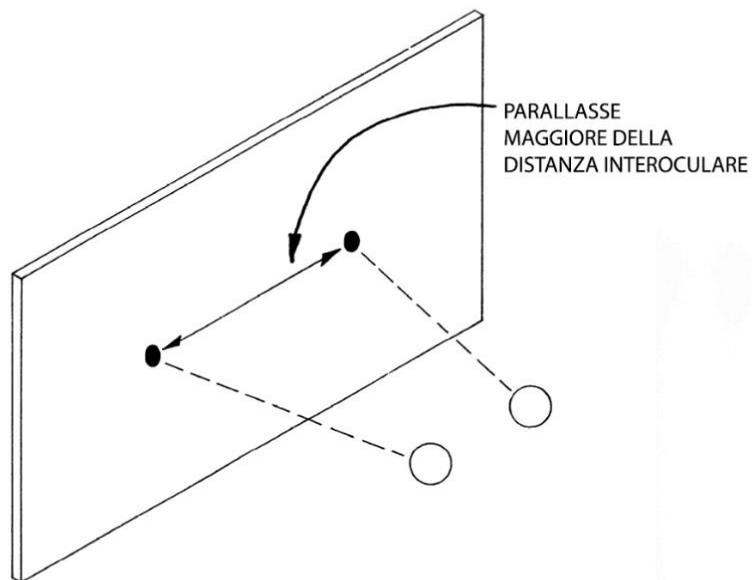


FIGURA 36_PARALLASSE CON VALORE MAGGIORE DELLA DISTANZA INTEROCULARE

capitolo 5 – la tecnica del 3D

si ottiene è quello di pesantezza e sconforto e l'immagine non viene percepita correttamente⁴.

La parallasse quindi può variare in un intervallo di valori che spazia dallo 0 del caso di parallasse neutra ad un valore massimo (percepito) paragonabile alla distanza interoculare dello spettatore⁵. Sapendo che il soggetto vede lo spettacolo a una certa distanza, la parallasse massima accettabile sarà maggiore della distanza interoculare, di un valore che dipende proprio da questa distanza; chiamando S il segmento che si aggiunge alla distanza interoculare per ottenere il valore di parallasse massima otteniamo:

$$S = \tan(1^\circ) d$$

$$P_{max} = S + 65mm$$

Dove S è la distanza dello spettatore moltiplicata per la tangente di 1°, i 65mm stanno ad indicare la distanza interoculare media dell'essere umano.

Una regola empirica (Valyus, 1966)⁶ dice che:

$$|P|_{max} = 0.03L$$

Il modulo della parallasse massima deve essere 0.03 volte la larghezza dello schermo; come detto in precedenza il modulo della parallasse fa percepire gli oggetti come più vicini o più lontani, aumentando il modulo si accentua quindi l'effetto 3D, occorre quindi bilanciare la spettacolarità dell'effetto voluto con l'affaticamento della vista.

Quando si parla di 3D, lo spazio della sala può essere utilizzato per misurare gli effetti stereoscopici sullo spettatore, infatti nonostante lo spazio percepito sia frutto di un'elaborazione mentale, è possibile quantificarlo e analizzarlo come se fosse una porzione di spazio fisico reale:

⁴ In questo caso infatti può avvenire la rottura dell'abituale risposta muscolare di accomodazione/convergenza descritta nel capitolo precedente.

⁵ Intesa come valore assoluto, includendo quindi sia i casi di parallasse positiva che negativa.

⁶ Citata da Lenny Lipton in *Foundations of the Stereoscopic Cinema, A study in depth* pag. 100, Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

può ancora sopportare il fenomeno percependo la stereoscopia, l'area b ha una parallasse positiva di modulo eccessivo e la fusione dei fotogrammi risulta impossibile.

5.4 DISTANZA INTERFOCALE

Un parametro fondamentale da tenere in conto quando si vuole creare una perfetta immagine stereoscopica è la distanza interfocale (o stereo base), con la quale si intende la distanza tra i centri ottici delle due camere.

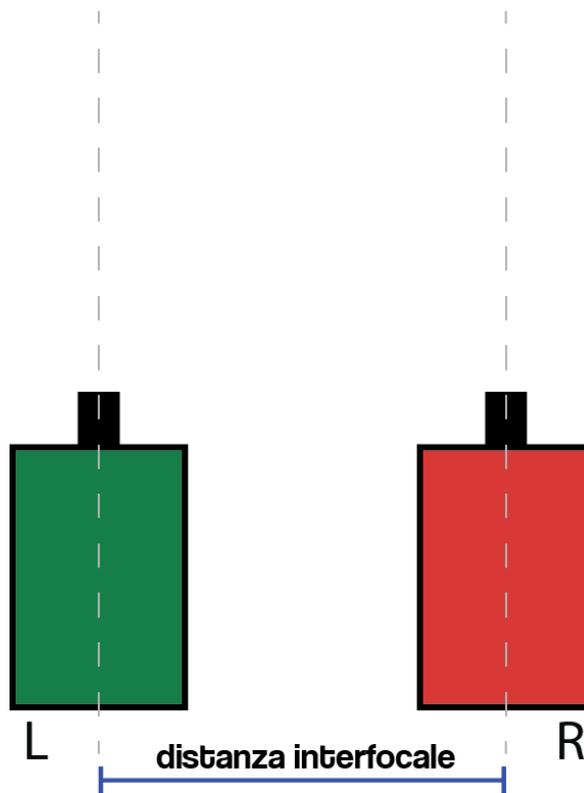


FIGURA 38_DISTANZA INTERFOCALE

Verrebbe da dire che per una visione naturalistica, la distanza tra le due camere debba essere pari alla distanza interoculare dell'essere umano; ma non è per forza così, il valore ottimale infatti dipende anche da dove si trovano gli oggetti ripresi in scena e da quale effetto si vuole ottenere sullo spettatore. In base al diverso effetto possiamo distinguere: l'ortoscopia, l'iperstereoscopia e l'ipostereoscopia.

L'ortostereoscopia si basa sull'imitare il comportamento naturale dell'occhio, che segue una legge molto semplice:

capitolo 5 – la tecnica del 3D

$$V = Mf_c$$

Dove V è la distanza tra spettatore e schermo, M è l'ingrandimento d'immagine e f_c è la lunghezza focale, l'ortostereoscopia è raggiunta quando tutte le variabili riproducono la stereoscopia umana reale. Ciò accade quando l'immagine ricade nello stesso spazio della retina dove ricadrebbe se l'osservatore vedesse la scena in prima persona (ciò vale anche, ad esempio, per definire la distanza alla quale vedere un quadro). Per ottenerla la distanza interfocale viene posta a circa 65mm e la lunghezza focale a circa 55mm. L'effetto è adatto quindi per scene naturalistiche come quelle di documentari o scene di dialogo.

Solitamente il 3D non viene utilizzato con l'intento di trasmettere un senso di naturalezza, anzi, spesso questi film sono di genere fantastico e puntano sulla spettacolarità della scena. Per questi ambiti è perfetta l'iperstereoscopia, che consiste nel posizionare le due camere con una stereobase superiore alla distanza interoculare; in questi casi l'effetto 3D viene accentuato, ma in casi estremi l'effetto può essere pesante.

L'ipostereoscopia invece, consiste nell'utilizzare una stereobase inferiore alla distanza interoculare umana; è molto utile per riprendere campi stretti e crea un effetto di ingrandimento dell'oggetto inquadrato, oltre che di profondità inferiore rispetto a quella che percepiremmo naturalmente.

Per valutare un corretto valore di stereobase si può usare una regola empirica: la distanza interfocale è 1/30 della distanza tra il primo oggetto dell'inquadratura e la camera; tuttavia ciò non può valere per ogni schermo, in quanto le dimensioni di esso influiscono sulla percezione dello spettatore: per il cinema infatti, è meglio utilizzare una proporzione 1:100, per fare in modo che la differenza tra le immagini non sia troppo elevata e, di conseguenza, fastidiosa. Se si vuole usare una formula che sia otticamente più precisa esistono varie equazioni elaborate negli anni, una delle più autorevoli⁷, nel mondo della stereoscopia è quella di Bercovitz:

$$B = P \left(\frac{d_{max}d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \right) \left(\frac{1}{f} - \frac{d_{max} + d_{min}}{2d_{max}d_{min}} \right)$$

⁷ Fonte: <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercovitz.htm#bercovitz>

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Dove B è la stereobase, P è il valore di parallasse che si vuole ottenere, f la lunghezza focale adottata, d_{\min} la distanza dell'oggetto presente in scena più vicino alla camera e d_{\max} è la distanza dell'oggetto più lontano dalla camera (ogni parametro va espresso in millimetri).

Questa formula può essere combinata a quella descritta prima per ottenere la parallasse massima, il parametro che si ottiene è il cosiddetto MAOFD⁸.

5.5 CONVERGENZA

In fase di ripresa è possibile posizionare le camere in modo tale che convergano verso un certo punto, esattamente imitando il comportamento del bulbo oculare umano (vedi capitolo precedente), il punto in questione sarà a parallasse zero, in quanto è situato nella stessa posizione nei due fotogrammi, e quindi sarà percepito in sala come appartenente al piano dello schermo.

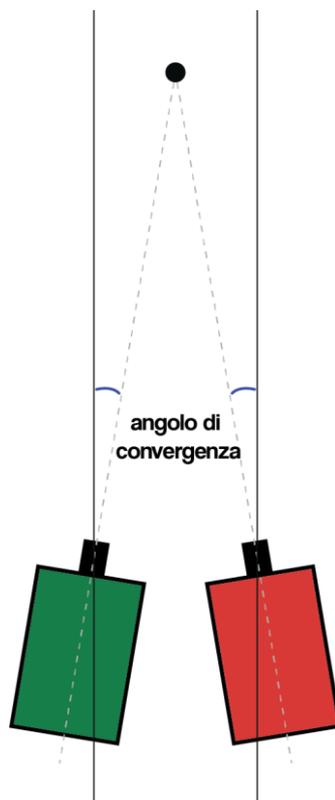


FIGURA 39_ANGOLO DI CONVERGENZA

⁸ Acronimo di Maximum Allowable On Film Deviation.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Nell'apparato visivo, la convergenza, portata avanti dai muscoli estrinseci, è necessaria, in quanto il punto di fissazione è il centro d'interesse sul quale anche il cervello si concentra, di conseguenza l'occhio dedica a questo punto un maggior numero di informazioni. Nella camera da presa invece, la pellicola registra in maniera indistinta tutte le parti del fotogramma, senza impressionare in maniera diversa il centro e la periferia; la convergenza quindi assume un significato differente.

La scelta di far convergere le due camere infatti, comporta la decisione del posizionamento del piano dello schermo all'interno dello spazio tridimensionale dell'immagine; è possibile quindi scegliere se voler far convergere le camere o meno. In caso le riprese vengano fatte in maniera parallela, il punto di convergenza sarebbe idealmente all'infinito e lo spazio tridimensionale starebbe tutto davanti allo schermo, con una profondità di tipo negativo. L'alternativa è quella di far convergere le camere verso l'oggetto dell'inquadratura più vicino agli obiettivi, con l'effetto che lo spazio tridimensionale della scena, una volta in sala, verrà percepito come posto dietro lo schermo. La visualizzazione della profondità in maniera positiva è meno dispendiosa per il cervello umano e in un lungometraggio risulta più rilassante per l'apparato visivo.

5.6 METODI DI VISUALIZZAZIONE DELLE RIPRESE STEREOSCOPICHE

Una volta che sono state ottenute le riprese, in modo tale da avere due canali, uno per l'occhio destro e uno per il sinistro, è necessario che lo spettatore riceva le informazioni corrette, in modo tale che il fotogramma giusto venga proiettato solo sull'occhio giusto. Nel tempo sono state sviluppate numerose tecniche per ovviare a questo problema e separare la coppia di immagini stereoscopiche, ognuna delle quali ha i suoi punti di forza e punti di debolezza; sostanzialmente si dividono in:

- Tecniche basate sul colore
- Tecniche basate sul tempo
- Polarizzazione
- Autostereoscopia

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Procediamo quindi ad illustrarle una per una, specificando che tutte queste tecnologie erano già state sviluppate all'epoca di Casiraghi.

5.7 TECNICHE BASATE SUL COLORE

La prima tecnica che venne utilizzata per separare i due canali fu quella di usare filtri colorati, la cui idea alla base è molto semplice: utilizzando degli occhiali dotati di lenti colorate di colori complementari, è possibile separare i due fotogrammi, in quanto la lente destra fa passare solo la luce di un dato colore filtrando tutte le altre lunghezze d'onda (ad esempio fa passare la luce rossa) e la lente sinistra fa la stessa cosa se è colorata del colore opposto (in questo caso il ciano).

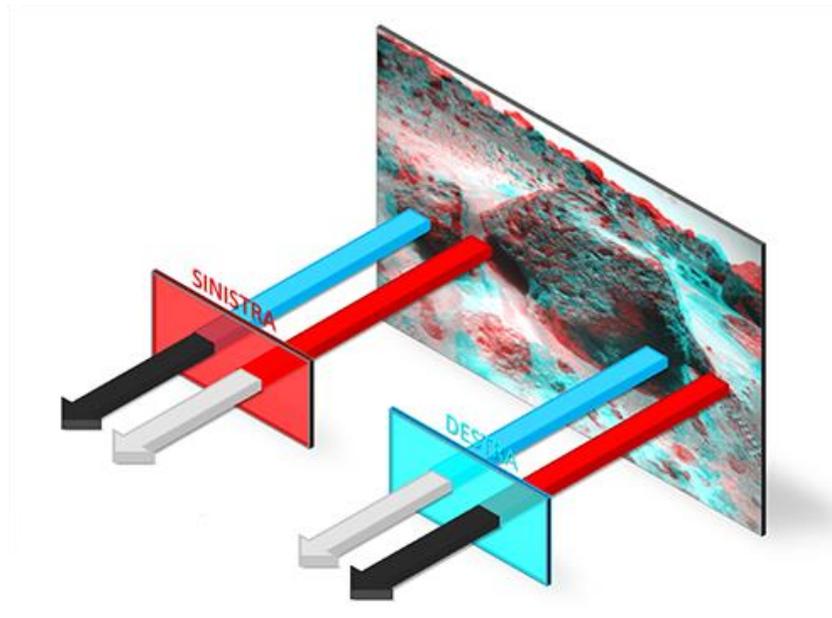


FIGURA 40_IMMAGINE ANAGLIFICA

Ad esempio se l'immagine destinata all'occhio destro arriva sullo schermo colorata di rosso, verrà vista dall'occhio destro e filtrata via dall'occhio sinistro, mentre l'immagine proiettata di color ciano verrà vista dall'occhio sinistro e filtrata via dall'occhio destro. Tutte le parti bianche, nere o grigie (prive quindi di cromaticità), verranno invece osservate da entrambi gli occhi.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Questa tecnica si chiama anaglifo (la cui etimologia deriva dal greco e indica letteralmente bassorilievo). Occorre scegliere con cura i colori dei filtri, che devono essere complementari, le coppie di colori più usate sono rosso/verde, blu/giallo o più tipicamente rosso/ciano; la coppia rosso/ciano è la più utilizzata oggi, in quanto il ciano è la somma del verde e del blu (quindi il perfetto opposto del rosso). In questo modo quindi, la visualizzazione dei colori è molto precisa e viene chiamata tecnica anaglifica a tre colori, vengono infatti coinvolti tutti e tre i colori primari della sintesi additiva.

Il principale vantaggio di questa tecnica è l'economicità; gli occhiali infatti, di solito hanno una struttura di cartone, sono leggeri e hanno un bassissimo costo. Le lenti spesso non sono di altissima qualità e sono composte da strati di pellicola colorata, che vengono chiamati gelatine. In questo modo è possibile raggiungere grandi audience e infatti questo era il metodo utilizzato nel boom del 3D degli anni 50. Lo svantaggio principale, invece, consiste nella percezione alterata del colore: gli occhialini standard infatti, non riescono a compensare la differenza tra le lunghezze d'onda tra i canali destro e sinistro, l'effetto è che l'immagine di uno dei canali può risultare sfocata; prendendo ad esempio l'anaglifo rosso/ciano, l'immagine rossa è qualche volta fuori fuoco, in quanto il canale ciano domina la messa a fuoco di entrambi gli occhi. E' necessario dunque aggiungere delle lenti correttive che siano in grado di compensare la differenza di diottrie tra canale destro e sinistro; tuttavia queste lenti aggiuntive possono risultare fastidiose, in particolare i miopi hanno fastidio a usare queste lenti aggiuntive. Il sistema non è quindi perfetto.

5.8 TECNICHE BASATE SULLA TEMPORIZZAZIONE

Le tecniche di visualizzazione stereoscopica che si basano sul tempo, sono concepite per far visualizzare consecutivamente (in istanti di tempo differenti), una sequenza alternata di immagini destre e sinistre, facendo in modo che vengano viste dall'occhio giusto. Il metodo si fonda sul meccanismo della persistenza retinica, in modo tale che il cervello fonda i due stimoli. Nell'uomo infatti, l'immagine percepita a livello retinico, è memorizzata nel cervello per un brevissimo intervallo di tempo, di circa 120-130 ms. Se i neuroni riescono ad ottenere una coppia di immagini provenienti dall'occhio destro e dall'occhio sinistro in un intervallo inferiore al

capitolo 5 – la tecnica del 3D

tempo di persistenza, i fotogrammi verranno percepiti come se arrivassero contemporaneamente e il meccanismo della stereopsi si attiverebbe normalmente. Per attivare correttamente la visione stereoscopica occorrono 40 immagini al secondo per ciascun occhio, serve quindi un sistema capace di lavorare a 80 Hz.

Per implementare il tutto servono quindi tre componenti fondamentali: uno schermo con un proiettore capace di proiettare come minimo 80 fotogrammi al secondo, degli occhiali capaci di oscurare le due lenti in maniera alternata alla stessa frequenza del proiettore e un meccanismo di sincronizzazione. Al tempo d'oggi, dato che i principali formati di riproduzione video lavorano a 25 o 30 fps, la maggior parte dei sistemi di visione stereoscopica lavora a una frequenza di 100 o 120 Hz, ripetendo 2 volte ogni frame per ogni canale.

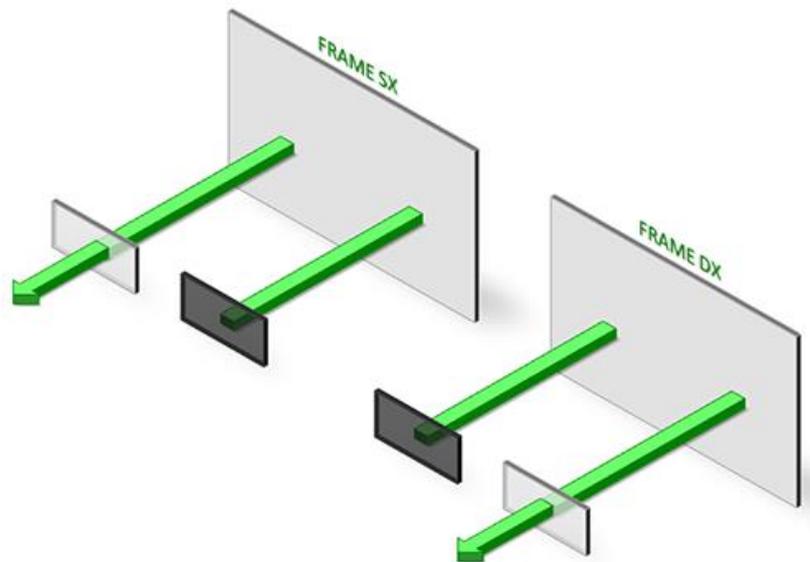


FIGURA 41_STEREOCOPIA CON SHUTTER GLASSES

Nonostante questa possa sembrare una tecnologia molto recente, ha in realtà una storia lunga: già negli anni 20 l'inventore Laurens Hammond sviluppò un sistema del genere, con degli occhiali speciali che funzionavano a motore, legati ad ogni poltrona della sala; il proiettore e gli occhialini erano alimentati con la stessa corrente alternata e quindi gli shutter degli occhialini riuscivano a mantenere la sincronia con il proiettore.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Al tempo d'oggi questa tecnologia è ancora presente, gli occhiali sono a cristalli liquidi, in modo tale da poter oscurare l'occhio giusto al momento giusto (ogni lente può diventare opaca o trasparente). Il funzionamento corretto è assicurato da un sincronizzatore legato al proiettore che comunica con i vari occhialini grazie alla tecnologia bluetooth. I vantaggi di queste tecnologie stanno nel fatto che si può utilizzare uno schermo qualunque per lo spettacolo, dato che la complessità del sistema è spostata al livello degli occhialini; lo spettatore può inoltre piegare la testa come vuole, senza che questo comporti un degrado della qualità dello spettacolo stereoscopico.

I principali svantaggi sono il costo degli occhialini, che devono essere attivi ed essere dotati di schermi a cristalli liquidi, oltre che di vari altri componenti elettronici, possono inoltre risultare pesanti, creando un fastidio se indossati per lunghi periodi di tempo. Un ulteriore problema è il fatto che la lente a cristalli liquidi non scherma completamente la luce quando oscurata, ma solo i due terzi, creando possibili effetti fastidiosi.

5.9 TECNICHE BASATE SULLA POLARIZZAZIONE

La radiazione luminosa può essere idealizzata come un fascio di onde elettromagnetiche, ciascuna di queste si propaga nello spazio secondo una direzione ben precisa, perpendicolare al campo elettromagnetico dell'onda. Quando la direzione del vettore campo elettrico è casuale nel tempo la luce può essere definita luce non-polarizzata. Se invece essa è definita nel tempo, la luce è polarizzata e se ne possono distinguere due tipologie: la polarizzazione lineare e quella circolare.

La polarizzazione lineare è quella nella quale il campo elettrico dell'onda oscilla in una sola direzione, mentre in quella circolare il campo elettrico oscilla in due direzioni ortogonali tra loro, con la luce che ruota attorno al proprio asse "a spirale", questa rotazione può avvenire in senso orario o antiorario. Detto ciò è possibile creare dei filtri che permettano il passaggio di una sola componente della radiazione luminosa: il filtro polarizzatore (nel caso della polarizzazione lineare) è costituito da lamelle di natura molecolare poste a distanza pari alla lunghezza d'onda della luce; questo filtro trasforma la luce non-polarizzata in polarizzata, in quanto solo la

capitolo 5 – la tecnica del 3D

luce che oscilla su un piano ben definito riesce a passare. Questa luce riuscirà a passare solo attraverso un secondo filtro a lamelle parallele al primo, mentre verrà respinto da un filtro a lamelle ortogonali.

E' dunque possibile realizzare la stereoscopia sfruttando questo concetto ottico, utilizzando alcuni componenti base: due proiettori, dei filtri lineari posti di fronte alla sorgente luminosa dei proiettori stessi, uno schermo che non depolarizzi la luce e occhiali con filtri polarizzatori.

I due proiettori sono sincronizzati e ciascuno di essi proietta uno dei due canali della ripresa stereoscopica, ognuno di essi ha un filtro polarizzatore, i filtri polarizzatori del proiettore destro e sinistro sono ortogonali tra loro. I due flussi di luce polarizzata vanno poi a riflettersi su uno schermo che mantiene la polarizzazione; questi schermi, per poter assolvere questo compito, hanno uno strato superficiale metallico. Di solito è un materiale polimerico sul quale viene sovrapposto un leggero strato di alluminio, che gli dà la colorazione metallica caratteristica, tant'è che viene chiamato comunemente silver screen. Lo schermo assolve due compiti quindi, il mantenimento della radiazione polarizzata, ma anche l'aumento di luminosità: lo strato di alluminio, infatti, riesce a rendere lo schermo particolarmente luminoso, aumentando la luminosità di 2,4 volte⁹. Uno dei difetti delle modalità di visualizzazione che si basano sulla polarizzazione della luce è infatti la luminosità: le lenti polarizzanti, filtrando parte della radiazione luminosa, comportano una perdita di luminosità, che rischia di far arrivare delle immagini troppo scure agli occhi dello spettatore.

⁹ Luca Gonnelli, Ilenia Notarangelo, *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte* pag. 61, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Una volta che la luce è rimbalzata sullo schermo arriva sugli occhi dello spettatore dopo essere passata attraverso degli occhiali che hanno delle lenti polarizzanti tra di loro ortogonali, l'immagine destra passerà solo attraverso il filtro che permette il passaggio della luce lungo quell'asse; la stessa cosa accadrà sull'occhio sinistro. Questo secondo filtraggio comporta un'ulteriore perdita di luminosità dell'immagine, sebbene non particolarmente significativa.

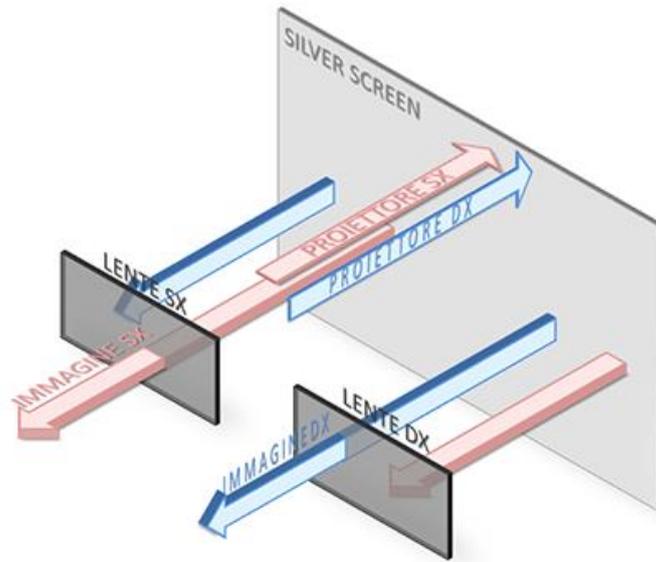


FIGURA 42_SCHEMA FUNZIONAMENTO POLARIZZAZIONE

La polarizzazione lineare ha però un problema fondamentale, che riguarda la libertà di movimento dello spettatore: se infatti viene inclinata la testa rispetto alla posizione perfettamente orizzontale, il funzionamento dei filtri polarizzatori varia, compromettendo la corretta visione stereoscopica e inducendo fenomeni di cross-talk¹⁰ molto fastidiosi, causati dallo scorretto allineamento delle lenti rispetto ai filtri polarizzanti posizionati sui proiettori.

¹⁰ Il fenomeno di cross-talk avviene quando l'immagine destinata a un occhio va a finire su quello sbagliato, creando una percezione errata del 3D.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Per risolvere questo problema attualmente vengono impiegate tecniche che si basano sull'uso della polarizzazione circolare, anziché sull'uso di quella lineare. Gli occhiali che implementano questa tecnica hanno dei filtri che fanno in modo che uno di essi sia in grado di far passare la luce polarizzata in senso orario e l'altro quella in senso antiorario. Ragionando in questo modo si ha una buona qualità stereoscopica e un fastidio minore, dato che lo spettatore è libero di poter ruotare la testa liberamente.

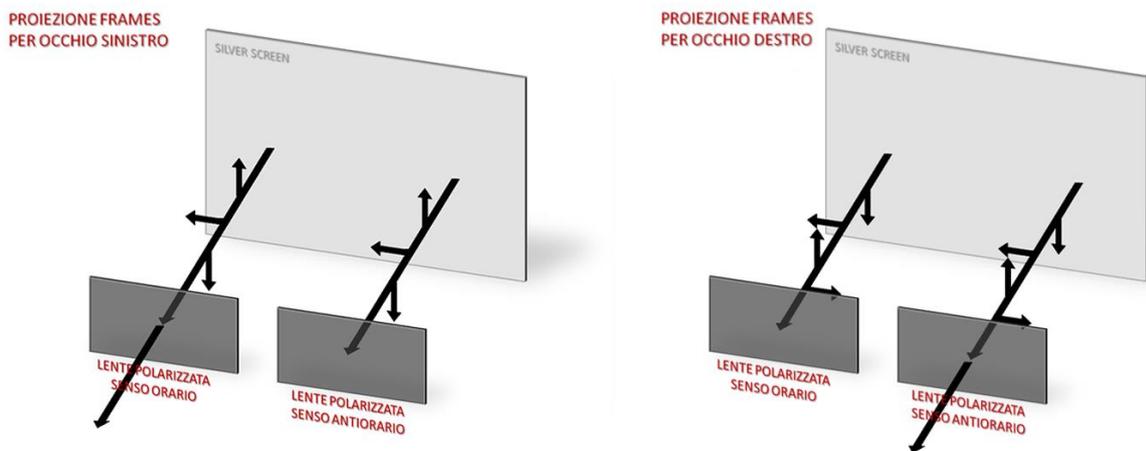


FIGURA 43_POLARIZZAZIONE CIRCOLARE

L'unico vero punto a sfavore di queste tecnologie è dato dai costi di implementazione, che sono elevati e richiedono un investimento grosso sull'acquisto degli schermi col rivestimento di alluminio.

5.10 TECNICHE AUTOSTEREOSCOPICHE

L'autostereoscopia è l'unica modalità di riproduzione che permette di non utilizzare gli occhiali da parte dello spettatore, in quanto la complessità del meccanismo è spostata a livello dello schermo. Esistono due principali metodi autostereoscopici: i metodi a barriera di parallasse e quelli basati sull'utilizzo di reti lenticolari. Indipendentemente dal metodo utilizzato, il principio è sempre quello di separare le immagini, facendo in modo che l'immagine destra venga vista dall'occhio destro e quella sinistra dal sinistro.

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Una differenza fondamentale è che l'immagine che viene visualizzata non è per forza composta da due fotogrammi, nella nostra trattazione parleremo di immagine destra e immagine sinistra, tenendo conto che ognuna di questa può essere costituita da più viste.

Lo spettatore deve porsi a una certa distanza e a un certo angolo dallo schermo per poter vedere in maniera corretta l'immagine; anche questo metodo, sebbene possa sembrare di recente invenzione, ha una storia molto lunga, il primo brevetto infatti, è stato depositato nel 1903 da Frederick Eugene Ives e si basava sulla barriera di parallasse.

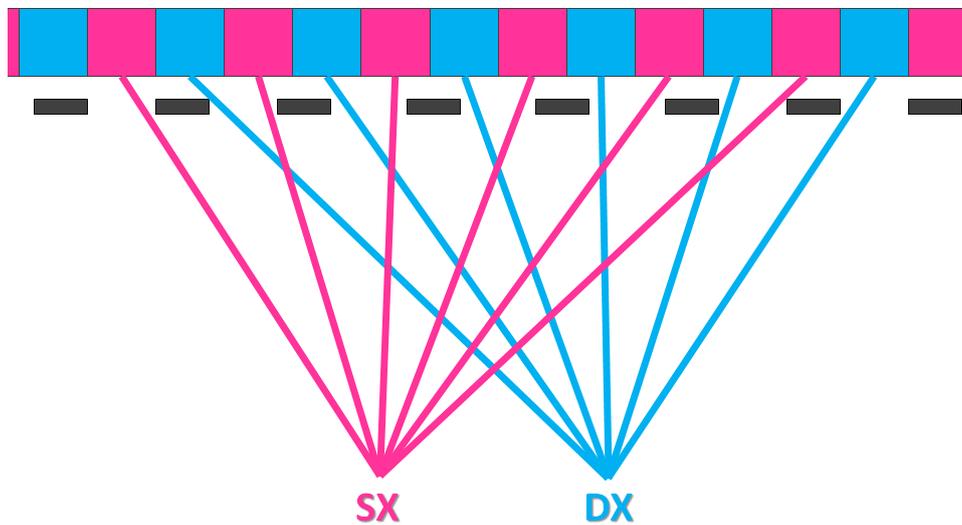


FIGURA 44_BARRIERA DI PARALLASSE

La barriera di parallasse è un filtro con delle fessure verticali equidistanti tra di loro, che serve a separare l'immagine destra da quella sinistra: retrostante al filtro infatti vi è uno schermo che proietta il canale destro e quello sinistro in righe verticali. Il filtro è posto in modo tale da schermare le strisce destre per l'occhio sinistro, e da schermare quelle sinistre per l'occhio destro; lo spettatore (se posizionato correttamente) vedrà quindi un'immagine diversa per ogni occhio.

Il sistema a rete lenticolare funziona in maniera molto simile al precedente, ma davanti allo schermo è posto un pannello costituito da lenti cilindriche affiancate. Queste lenti dirigeranno la specifica colonna di pixel verso l'occhio giusto. Questi schermi hanno delle posizioni fisse dalle quali è possibile percepire correttamente

capitolo 5 – la tecnica del 3D

la tridimensionalità, spostandosi in punti intermedi abbiamo effetti fastidiosi di cross-talk.

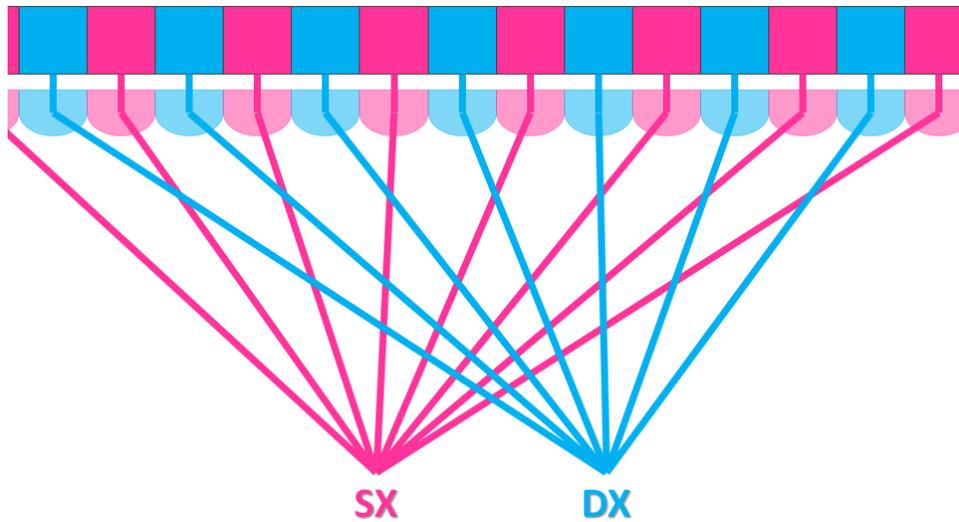


FIGURA 45_SCHEMA A RETE LENTCOLARE

Le tecniche autostereoscopiche comportano una diminuzione della risoluzione delle immagini visualizzate; la risoluzione verticale infatti dipende dal numero di colonne che si è deciso di utilizzare, che a sua volta dipende dalla geometria della barriera di parallasse. Prendendo un display FullHD, diviso su 8 colonne, la risoluzione massima possibile sarà di 240 pixel. Le tecniche autostereoscopiche infatti, sono state utilizzate in passato per schermi di piccole dimensioni, come quello della console portatile Nintendo 3DS, ma ultimamente i problemi creati da queste tecnologie sono stati risolti e ci sono ipotesi di un utilizzo in ambito cinematografico¹¹.

¹¹ Per una trattazione più approfondita rimandiamo al capitolo 7.

capitolo 6 – analisi macchina

6.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo analizzeremo la camera cercando di valutarne l'adattabilità alle riprese stereoscopiche; andremo in primo luogo ad effettuare delle misurazioni ottiche, in modo da capire se ci fosse la possibilità di effettuare delle riprese tridimensionali. In secondo luogo effettueremo una simulazione e proveremo a dimostrare l'effettiva fattibilità del progetto; valutando infine le eventuali limitazioni e descrivendo un possibile utilizzo effettivo della cinepresa.

capitolo 6 – analisi macchina

6.2 MISURE

Il punto di partenza per lo studio della cinepresa è la misurazione delle caratteristiche ottiche. Riprendendo le ipotesi di funzionamento descritte nel primo capitolo, è possibile che la stereoscopia di questa macchina derivi dalla differenza di informazioni che esiste tra l'immagine che entra direttamente nell'obiettivo verde, e quella che entra nell'obiettivo rosso dopo essere rimbalzata sullo specchio. Nel capitolo precedente abbiamo approfondito la tecnica cinematografica stereoscopica e abbiamo introdotto tutti i parametri fondamentali che una cinepresa deve rispettare per poter effettuare delle riprese di questo tipo:

- Due immagini prese da due punti di vista differenti
- Distanza tra i due punti di vista che deve essere simile alla distanza interoculare
- Angoli tra i due centri ottici delle immagini che devono rispettare le regole della convergenza

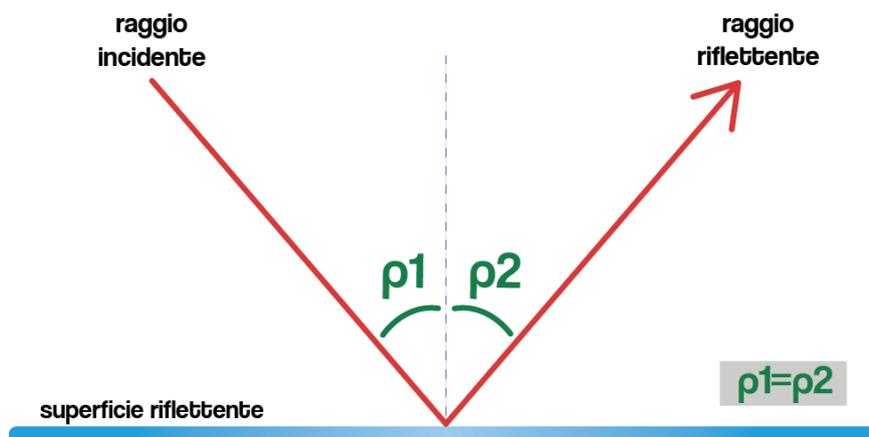


FIGURA 46_RIFLESSIONE

Per ideare un esperimento basato sull'ottica dello specchio, occorre introdurre le leggi che regolano la geometria ottica della luce: quando avviene una riflessione, la luce viene rispedita nel semispazio dove si trova la sorgente luminosa, il raggio che colpisce la superficie riflettente prende il nome di raggio incidente, mentre quello che rimbalza viene detto raggio riflesso. Nel punto in cui il raggio incidente colpisce la superficie, si può tracciare la perpendicolare alla superficie e individuare due

capitolo 6 – analisi macchina

angoli, il primo ρ_1 , tra la normale e il raggio incidente, e l'angolo di riflessione ρ_2 , tra la normale e il raggio riflesso.

Nella pratica si osserva che l'angolo d'incidenza è sempre uguale all'angolo di riflessione e che raggio incidente, raggio riflesso e la normale alla superficie giacciono tutti sullo stesso piano.

Fatte queste premesse è possibile ideare un esperimento è molto semplice: utilizzando un raggio laser (nel nostro caso utilizziamo un distanziometro laser), puntiamo un fascio di luce contro lo specchio, in modo tale da valutare in che modo esso rimbalzi verso l'obiettivo rosso.

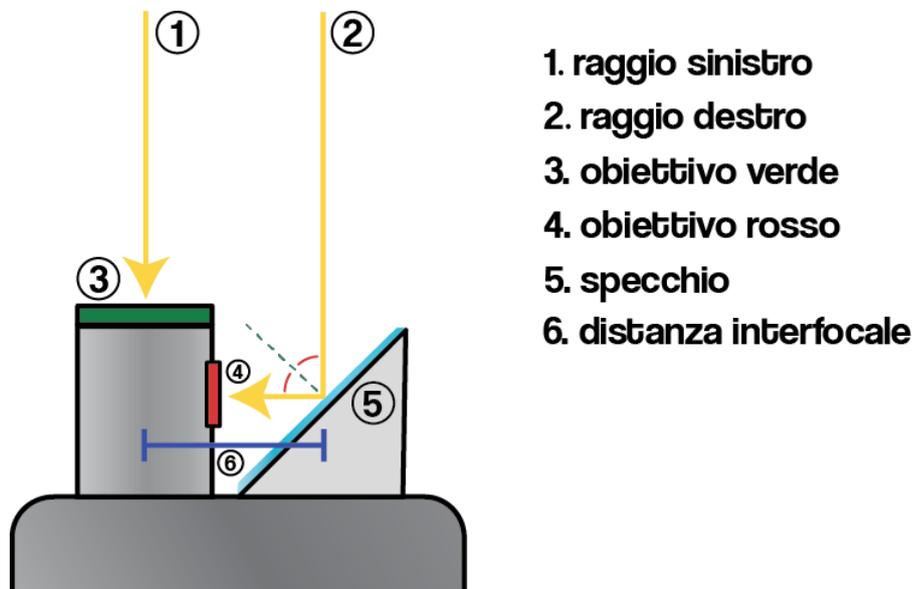


FIGURA 47_SCHEMA OTTICO OBIETTIVO (CON L'IPOTESI CHE L'ANGOLO DELLO SPECCHIO SIA DI 45 GRADI)

Una volta che abbiamo trovato la posizione giusta dalla quale il raggio rimbalza perfettamente, conoscendo le leggi di riflessione della luce abbiamo una prima indicazione di massima: se l'angolo che esiste tra il piano perpendicolare al centro ottico dell'obiettivo verde e il fascio laser è un angolo ottuso, vorrà dire che i due punti di vista sono divergenti e che la stereoscopia, otticamente, è impossibile da effettuare; se al contrario l'angolo è acuto allora i due punti di vista sono convergenti

capitolo 6 – analisi macchina

e si ha una primo indizio positivo che conferma la fattibilità di riprese stereoscopiche.

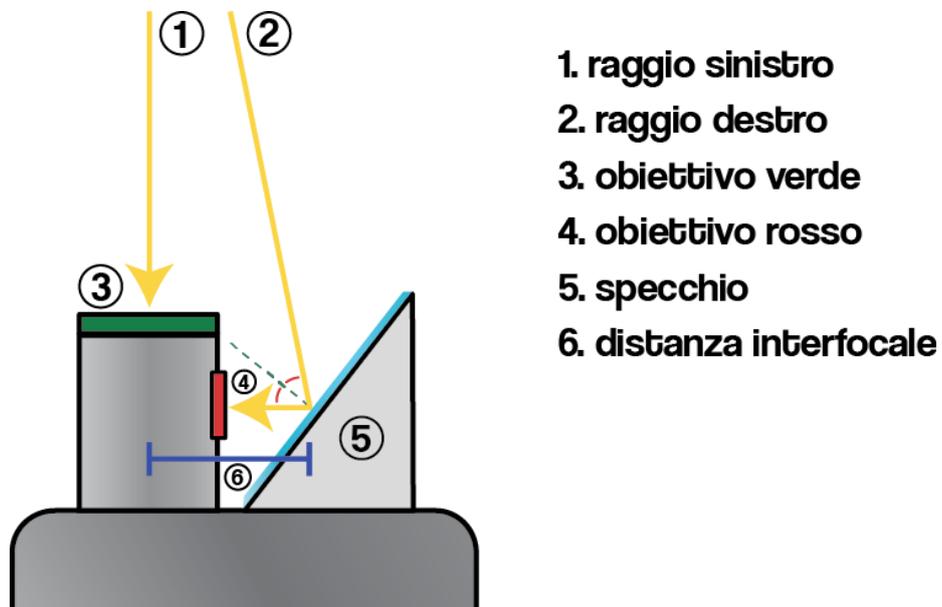


FIGURA 48_SCHEMA OTTICO OBIETTIVO (NEL CASO L'ANGOLO DELLO SPECCHIO FOSSE MAGGIORE DI 45 GRADI)

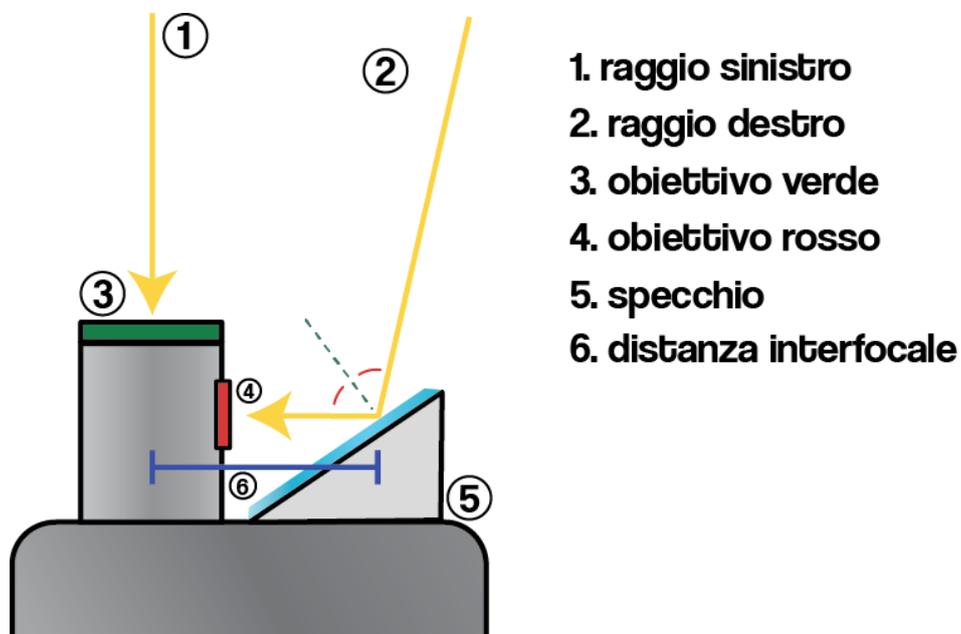


FIGURA 49_SCHEMA OTTICO OBIETTIVO (NEL CASO L'ANGOLO DELLO SPECCHIO FOSSE MINORE DI 45 GRADI)

capitolo 6 – analisi macchina

Una volta che è stato individuato l'angolo giusto, è necessario misurare la distanza che esiste tra il centro dell'obiettivo e il punto nello specchio sul quale rimbalza la luce; questo dato ci dà un'indicazione su quale sia la distanza interfocale della camera, che si può paragonare col valore di distanza interoculare media dell'essere umano: 65mm.

Come ulteriore conferma delle nostre ipotesi misuriamo con un goniometro l'inclinazione dello specchio, in modo tale da capire se è coerente con le altre misurazioni fatte: la teoria della riflessione ci dice che se l'angolo è maggiore di 45° , specchio e obiettivo convergono verso un unico punto; a 45° precisi il fascio di luce che entra nell'obiettivo e quello che rimbalza sullo specchio sono paralleli; a un angolo minore di 45° specchio e obiettivo divergono, escludendo quindi ogni possibilità di 3D.

Effettuando l'esperimento ci si rende conto che per fare in modo che la luce rimbalzi all'interno dello specchio rosso bisogna posizionare il laser in modo tale che l'angolo che si forma con la normale al centro ottico dell'obiettivo verde, sia minore di 45 gradi (come in figura 48), in queste condizioni la distanza tra il centro dell'obiettivo e il punto in cui rimbalza la luce nello specchio è di 7cm, un valore vicino alla distanza interoculare media umana; resta improbabile che questo sia un puro caso. L'angolo di inclinazione dello specchio è di 50° . Questi dati si confermano a vicenda e sono coerenti con le teorie ipotizzate in precedenza. Si può pensare, senza ragionevoli dubbi, che questo prototipo fosse stato pensato per poter implementare il 3D.

Per verificare inoltre che la luce passa effettivamente all'interno del prisma per arrivare sulla pellicola abbiamo puntato un fascio di luce dall'interno dell'obiettivo; vediamo che effettivamente la luce rimbalza formando due fasci, uno che rimbalza davanti allo specchio e l'altro davanti al filtro verde (anche se sembrano abbastanza uniti).



FIGURA 50_FOTO OTTENUTA PUNTANDO UN LASER DALL'INTERNO DELL'OBIETTIVO VERSO L'ESTERNO, SI PUÒ NOTARE COME EFFETTIVAMENTE LA LUCE RIMBALZA ED ESCE FRONTALMENTE ALLO SPECCHIO (SI POSSONO NOTARE DUE CERCHIETTI DISTINTI, ANCHE SE CONFUSI)

In seguito, grazie alla collaborazione con l'ASTUT¹, è stato fatto un altro esperimento per studiare l'obiettivo della cinepresa: è stata creata una scena molto illuminata con oggetti vari, tra cui una lampadina accesa ed è stata creata una camera oscura attorno all'obiettivo, tenuto fisso con delle pinze da chimica. Sul retro dell'obiettivo è stato posto un vetro smerigliato da fotografia, che è stato spostato in avanti e indietro fino ad ottenere un'immagine a fuoco della scena. In questo modo è stato possibile misurare la lunghezza focale dell'obiettivo e si è potuta vedere l'immagine che si formava sulla pellicola.

¹ Archivio Scientifico e Tecnologico dell'Università di Torino

capitolo 6 – analisi macchina

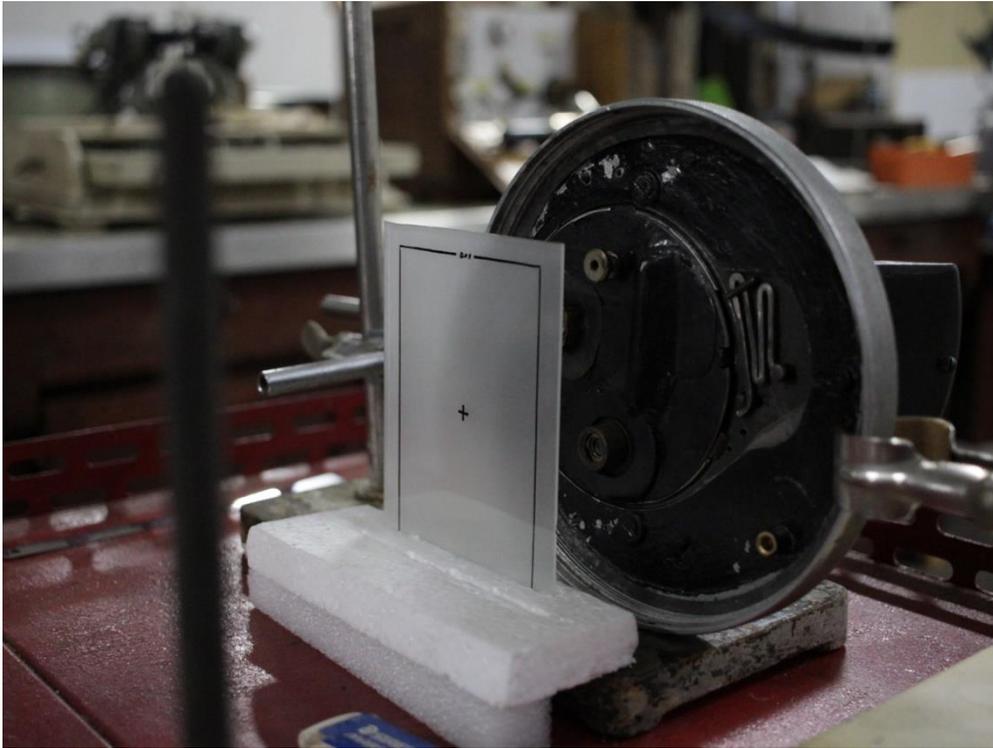


FIGURA 51_ FOTO DELL'ALLESTIMENTO FOTOGRAFICO, VISTA LATERALE



FIGURA 52_ FOTO DELL'ALLESTIMENTO FOTOGRAFICO, VISTA FRONTALE

capitolo 6 – analisi macchina



FIGURA 53_FOTO DELLA SCENA RIPRESA

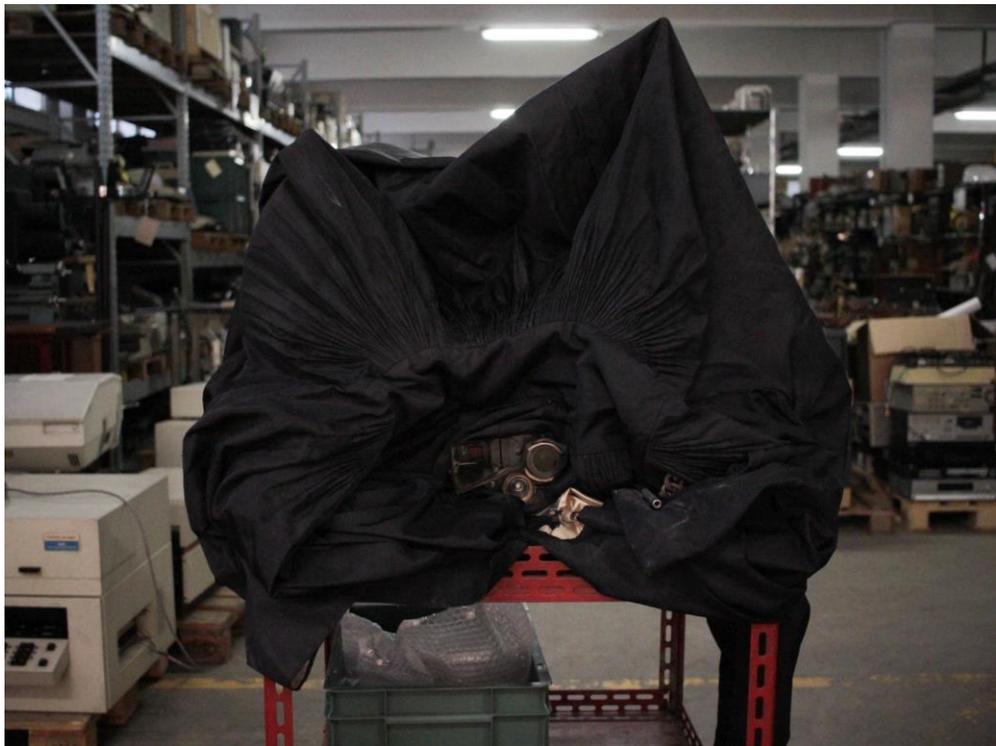


FIGURA 54_FOTO FRONTALE DELLA CAMERA OSCURA UTILIZZATA PER L'ESPERIMENTO

capitolo 6 – analisi macchina

A causa dell'età dell'obiettivo non è stato possibile trovare una posizione nella quale l'immagine fosse perfettamente a fuoco (è stata scelta la posizione nella quale il fuoco era il miglior possibile, cercando di mettere a fuoco la scritta Nokia), tuttavia si può notare che l'immagine complessiva ottenuta², che avrebbe impressionato la pellicola, è composta da due sottoimmagini differenti, in particolare si può fare

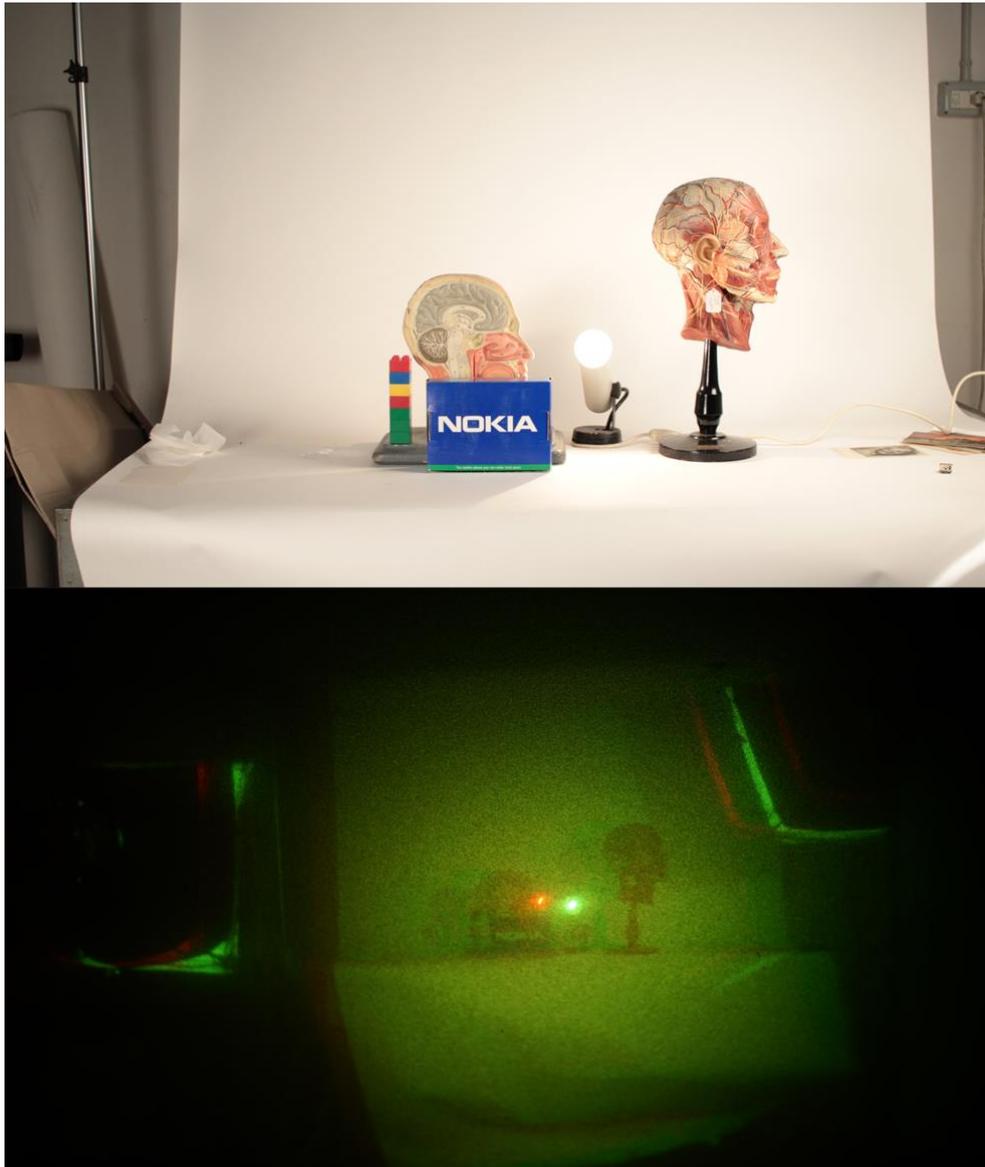


FIGURA 55_ UN CONFRONTO TRA LA SCENA E IL FOTOGRAMMA OTTENUTO UTILIZZANDO L'OBIETTIVO DELLA CINEPRESA CASIRAGHI, SI POSSONO NOTARE I DUE FOTOGRAMMI, IN PARTICOLARE SOFFERMANDOSI SULLA LAMPADINA

² E' stata utilizzata una Sony Alpha 6000, obiettivo 30mm macro, f3.5, tempo di esposizione 1 sec, ISO 100. Il rumore dell'immagine è il minimo ottenibile, la qualità è compromessa anche per la qualità dell'obiettivo Casiraghi.

capitolo 6 – analisi macchina

attenzione alla lampadina: nel frame ottenuto infatti si possono notare due lampadine, una rossa e una verde, dovute proprio a questo sdoppiamento³.

6.3 SIMULAZIONE

Dato che non è possibile utilizzare della vera e propria pellicola per verificare l'effetto tridimensionale ottenuto con questa macchina, si è scelto di fare una simulazione, per verificare la possibilità che questa macchina potesse funzionare davvero.

Il metodo di visualizzazione e realizzazione dell'immagine scelto è stato quello dell'anaglifo, ciò è dovuto a varie motivazioni: l'anaglifo è un sistema di facile realizzazione con una camera prosumer, non richiede di utilizzare attrezzature costose; in aggiunta a ciò questa tecnologia era la più utilizzata nel periodo in cui Casiraghi lavorava e verosimilmente, anche la cinepresa che stiamo utilizzando era stata pensata per l'anaglifo.

E' possibile creare un'immagine stereoscopica utilizzando gli stessi parametri utilizzati dalla cinepresa di Casiraghi; per fare ciò abbiamo utilizzato una macchina fotografica Canon EOS 1200D, facendo due fotografie prese da due punti di vista che seguono le stesse caratteristiche ottiche della cinepresa.

Sono state create due fotografie stereoscopiche, con parametri differenti, la distanza interfocale è stata fissata a 7 cm, variando la convergenza:

- La prima fotografia è stata fatta con una convergenza di 0 gradi.
- La seconda fotografia ha una convergenza di 5 gradi.

³ Confermando in sostanza ciò che avevamo ipotizzato ai capitoli 2 e 3, quando avevamo detto che questa tecnologia avrebbe sdoppiato l'immagine in quanto i due frame sono presi da due punti di vista leggermente differenti.

capitolo 6 – analisi macchina

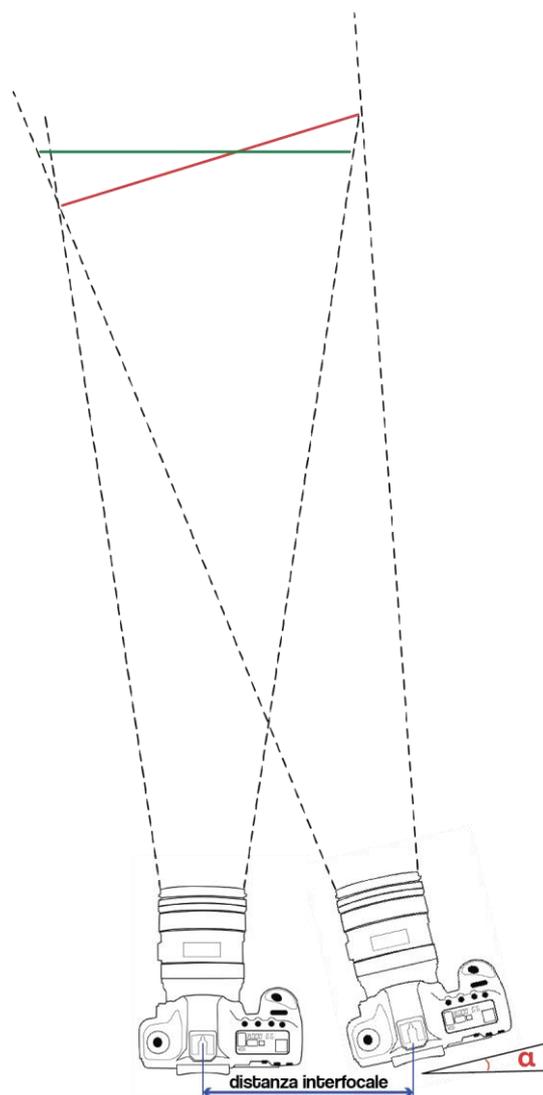


FIGURA 56_POSIZIONAMENTO FOTOCAMERE PER LA SIMULAZIONE

Il parametro di convergenza della foto del canale destro è stato ottenuto paragonando l'inclinazione dello specchio alla situazione di equilibrio: se lo specchio della cinepresa avesse avuto un'inclinazione di 45 gradi le due immagini sarebbero state parallele (convergenza di 0 gradi); dato che lo specchio è inclinato di 50 gradi, la convergenza risulterà essere la differenza tra 50 gradi e 45, quindi di 5 gradi.

In secondo luogo si è proceduto ad ottenere un'immagine stereoscopica con un programma di fotoritocco (Photoshop): le due immagini per canale destro e sinistro sono state sovrapposte sullo stesso progetto, utilizzando in seguito le modalità di

capitolo 6 – analisi macchina

fusione avanzata, in modo tale da mostrare solo il canale rosso per l'immagine di sinistra e quello ciano per l'immagine di destra.

I risultati mostrano che con uno specchio inclinato di 45 gradi sarebbe stato possibile creare una buona ripresa stereoscopica, l'effetto tridimensionale è infatti credibile e l'occhio non è affaticato eccessivamente.

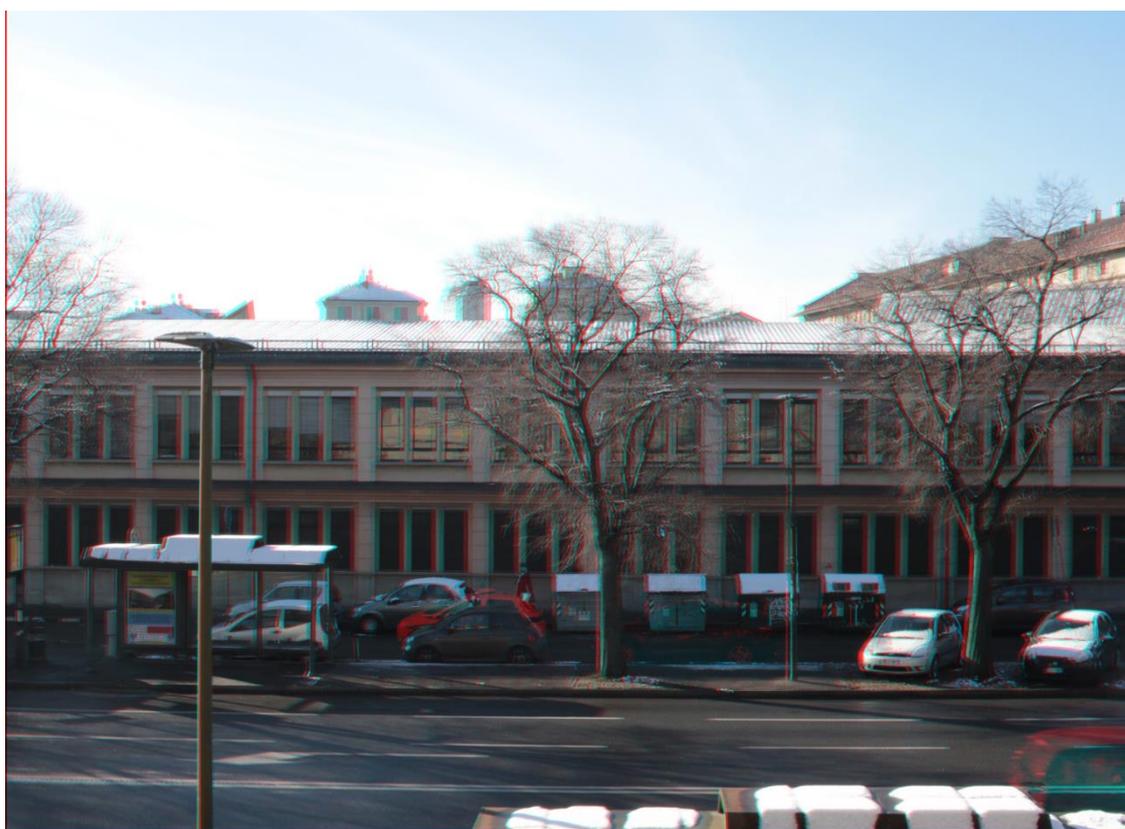


FIGURA 57_SIMULAZIONE 1. FOTO A CAMERE PARALLELE

Una buona immagine sarebbe stata ottenuta anche con uno specchio inclinato di 50 gradi, anche se è necessario tagliar via parte dell'immagine in quanto, una volta cambiata la parallasse orizzontale, parte delle due immagini non si sovrappone all'altra, diventando informazione che non contribuisce a stimolare la stereopsi umana; è possibile tuttavia notare un accenno di keystone effect⁴ andando a guardare la pensilina in basso a destra.

⁴ Per una trattazione approfondita dell'effetto keystone si legga il paragrafo 6.5.



FIGURA 58_SIMULAZIONE 2. CAMERA DESTRA INCLINATA DI 5 GRADI

6.4 CONCLUSIONI SUL FUNZIONAMENTO

Basandoci sulla teoria della simulazione della stereopsi in ambito cinematografico, analizziamo ogni parametro ottico della cinepresa. Come già detto, l'ipotetica distanza interfocale è di 7 cm, il valore, leggermente superiore alla distanza interoculare, provoca un leggero effetto di iperstereoscopia, non eccessivo, coerente con una cinepresa ideata come prototipo per testare le possibilità di questa tecnologia.

Per quanto riguarda il valore di parallasse si possono solo fare delle supposizioni, in quanto bisogna basarsi sulle dimensioni dello schermo sul quale si proiettano le riprese; usando la formula di Valyus⁵, e ipotizzando uno schermo di una larghezza

⁵ Vedi capitolo 5.

capitolo 6 – analisi macchina

di 3 metri (Vitale Casiraghi proiettava su uno schermo di sua proprietà all'interno della sua villa, le dimensioni di questo schermo quindi, non potevano essere troppo eccessive) otteniamo un valore di parallasse ipotetica di 9 cm.

La convergenza dello specchio destro invece, è leggermente superiore al valore ottimale, e come abbiamo visto nella simulazione, vi è un'acceso di effetto keystone. Tuttavia un valore di convergenza di 5 gradi è il massimo che i due occhi possono sopportare quindi stiamo all'interno dei limiti massimi⁶; Vitale Casiraghi sviluppava le sue macchine in autonomia, con materiali di recupero (in seguito al restauro del proiettore già menzionato nel primo capitolo sono stati rinvenuti degli stracci, l'otturatore inoltre era stato realizzato con del comune cartone dipinto di nero), ed è possibile che avesse commesso un errore di pochi gradi sulla convergenza dello specchio.

Il funzionamento ipotetico della macchina è dunque il seguente: attraverso il filtro verde passa l'immagine destinata al canale sinistro, che è l'immagine che si trova frontalmente all'obiettivo; attraverso il filtro rosso invece passa l'immagine destinata all'occhio destro, che viene successivamente fatta rimbalzare verso la pellicola grazie a un prisma. Quest'immagine, essendo sfasata di 7 centimetri e di un certo numero di gradi, simula il punto di vista dell'occhio destro; abbiamo visto come l'angolo sia eccessivo, ma non di tanto. L'ipotesi conclusiva è dunque che questo fosse un esperimento, un prototipo, sviluppato per trovare un modo di fare delle riprese stereoscopiche.

Restano comunque due questioni irrisolte: il perchè la macchina abbia due filtri colorati e il dubbio sulla foto nella quale si vede Casiraghi utilizzare la cinepresa. Per effettuare una ripresa stereoscopica col metodo anaglifico infatti, non è necessario che le due immagini per i canali destro e sinistro siano filtrate in fase di ripresa, ciò deve avvenire in fase di riproduzione, quando i due canali vengono proiettati con gli stessi colori delle lenti anaglifiche.

Una possibilità è che Vitale Casiraghi, già all'epoca, stesse già lavorando a una camera 3D che riproducesse i colori, i filtri verde e rosso quindi, potrebbero servire

⁶ Luca Gonnelli, Ilenia Notarangelo, *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte* pag. 40, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

capitolo 6 – analisi macchina

per ricostruire i colori con una sintesi additiva bicromatica (vedi capitolo 2). Una possibile conferma di questa ipotesi la si può trovare nuovamente nel brevetto del 25 maggio 1953, nel quale il metodo stereoscopico sviluppato si prefigge l'obiettivo di riuscire anche a riprodurre i colori. Nel brevetto si nota come siano usati solo due filtri in fase di ripresa e come i colori siano gli stessi della cinepresa della collezione del Museo del Cinema. Il colore ottenuto quindi, come già spiegato, sarebbe stato imperfetto, ma rappresentava un primo passo verso il stereocinema a colori.

Il secondo dubbio sorge vedendo l'unica fotografia nella quale Casiraghi adopera la cinepresa, si vede infatti un soggetto, forse sua moglie, che viene ripreso da una distanza troppo ravvicinata: con valori di distanza interfocale di 7 cm infatti, non è possibile rappresentare soggetti così vicini alla cinepresa. E' possibile che la foto sia stata scattata non nel momento delle riprese vero e proprio, o magari Casiraghi voleva testare proprio quale fosse la distanza minima alla quale potesse fare delle riprese.



FIGURA 59_VITALE CASIRAGHI CHE USA LA SUA CINEPRESA

capitolo 6 – analisi macchina

E' necessario dire infine, che questa tecnologia presenta troppe lacune dal punto di vista ottico per poter essere un modello funzionante di cinepresa stereoscopica, tuttavia le somiglianze con le cineprese atte a questo compito sono troppe e troppo evidenti per escludere completamente che questo oggetto fosse almeno un prototipo o un esperimento che andava verso quel tipo di tecnologie.

Un'ulteriore dubbio irrisolto è quello del funzionamento effettivo del proiettore, nella macchina di Casiraghi infatti, le due immagini destra e sinistra risulterebbero sovrapposte (come si abbiamo visto nel nostro esperimento) sulla pellicola. Non avendo il proiettore è difficile capire come effettivamente venisse riproiettato lo spettacolo per simulare il 3D.

6.5 UN 3D DEL GENERE E' POSSIBILE?

Nonostante in teoria questa macchina possa essere utilizzata per effettuare delle riprese stereoscopiche, è necessario fare degli approfondimenti e spiegare quali sono le possibili limitazioni del 3D "made in Casiraghi".

La principale problematica deriva dal cosiddetto effetto keystone. In ambito stereoscopico, due lenti sono utilizzate per riprendere lo stesso soggetto, ognuna delle quali da una prospettiva leggermente differente; se le due immagini non vengono riprese parallelamente si crea l'effetto keystone, ovvero una distorsione trapezoidale dell'immagine. Questo effetto è normale nelle riprese stereoscopiche e comporta dei problemi di parallasse nel prodotto finale, che si possono limitare usando angoli di convergenza piccoli (nei moderni software esistono numerosi plugin, che permettono di risolvere questo problema applicando una distorsione dell'immagine digitale).

La macchina di Casiraghi accentua molto l'effetto keystone, principalmente per due motivi; in primo luogo si nota che l'angolo di convergenza è elevato, in secondo luogo è la manifattura stessa della camera che evidenzia questo problema: nelle camere stereoscopiche tradizionali i due punti di vista sono entrambi leggermente convergenti e quindi sia il canale destro che quello sinistro avranno una distorsione,

capitolo 6 – analisi macchina

che essendo divisa tra i due canali è percettivamente minore; la cinepresa Casiraghi invece è fatta in modo tale che solo il canale destro sia convergente, spostando tutta la distorsione sull'occhio destro e aumentando l'effetto keystone.

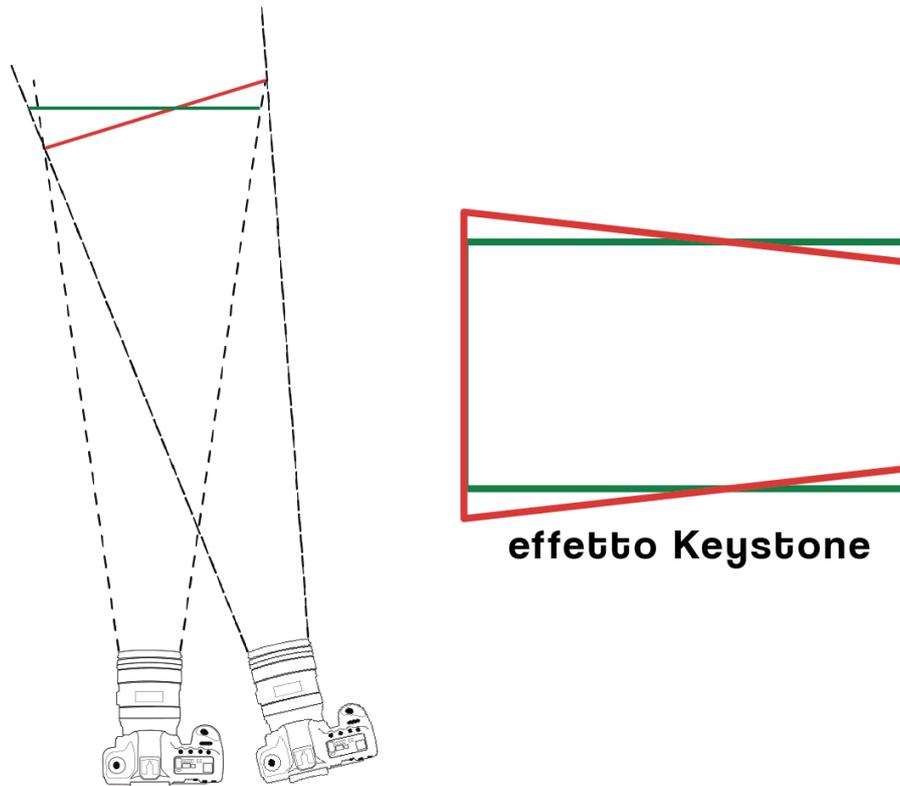


FIGURA 60 _EFFETTO KEYSTONE NELLA CINEPRESA CASIRAGHI, SI NOTA COME L'ORIZZONTE DELL'IMMAGINE DESTRA NON È SOVRAPPONIBILE CON QUELLO DELL'IMMAGINE SINISTRA

Un altro grosso problema della macchina è il fatto che, con questi settaggi, non sia possibile modificare né la distanza interfocale, né la convergenza dello specchio; non permettendo di poter far decidere al regista la quantità di parallasse necessaria per ogni scena.

La cinepresa Casiraghi ha però dalla sua un grande punto a favore: la leggerezza e maneggevolezza. Il 3D infatti non si è mai sviluppato sul grande mercato in quanto le cineprese sono pesanti e voluminose; essendo molto spesso composte da due cineprese indipendenti infatti, occorre anche usare il doppio della pellicola e del personale. La cinepresa Casiraghi, invece, è leggera e ha bisogno di un solo rullo di pellicola, un operatore abituato a utilizzare macchinari tradizionali non avrebbe avuto alcun problema con questo tipo di tecnologia. I costi di produzione si

capitolo 6 – analisi macchina

sarebbero ridotti di moltissimo e il cinema stereoscopico sarebbe diventato alla portata di tutte quelle case di produzione secondarie che preferirono non puntare su questa tecnologia in quanto troppo rischiosa.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

7.1 INTRODUZIONE

Il mercato del 3D cinematografico è attualmente in flessione, l'entusiasmo dell'uscita nelle sale di Avatar è un pallido ricordo e oggi le sale che propongono spettacoli 3D diminuiscono di numero. Gli incassi provenienti da questo settore sono sempre meno: già nel 2017 un report¹ stilato dalla MPAA (Motion Picture Association of America) dichiarava che solo il 12% dei ricavi al botteghino proveniva da film 3D, mentre nel 2010 parlavamo del 21%. Ciò è dovuto soprattutto al fatto che lo spettacolo 3D costringe lo spettatore a indossare occhialini e una

¹ Fonte: <https://pmcdeadline2.files.wordpress.com/2018/04/mpaa-theme-report-2017.pdf>

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

grande fetta di pubblico ritiene che uno spettacolo di un'ora e mezza dove ogni occhio deve interpretare un'immagine diversa sia faticoso.

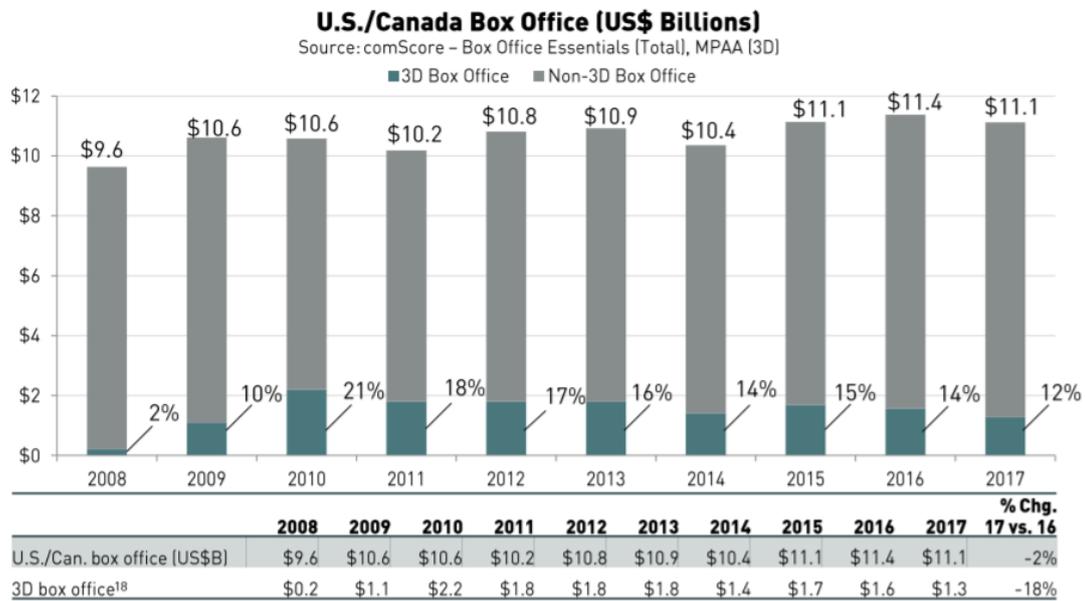


FIGURA 61_ANALISI DEL MERCATO 3D FATTA DA PARTE DELL'MPAA

La realtà virtuale offre un alto livello di immersione grazie all'impressione di presenza che ha lo spettatore, la porzione di contenuto che viene proiettata dipende infatti della posizione della testa dello spettatore. Questa tecnologia è promettente nel campo del cinema e molte tecnologie che vanno verso questa direzione vengono sviluppate e prodotte. Tuttavia, il cinema pensato per i visori VR è più vicino al Kinetoscopio di Edison che al Cinematographe dei fratelli Lumiere. Il kinetoscopio, come la realtà virtuale, permetteva di usufruire dello spettacolo uno spettatore alla volta, non permettendo la visione per un pubblico ampio alla quale ci ha abituato il cinema. Ciononostante il VR contribuisce a stimolare e offre nuove opportunità e sfide, sia negli ambiti della tecnologia che in quelli dell'arte.

Come abbiamo ben visto, il lavoro di Vitale Casiraghi è stato vasto e articolato. Egli si è occupato di migliorare ogni singolo aspetto dello spettacolo cinematografico, con il pensiero fisso di ricreare qualcosa che simuli perfettamente il funzionamento dell'occhio umano; ha sempre evitato infatti di sviluppare tecnologie artificiali e poco realistiche.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Un altro focus di tutto il suo lavoro è sempre stato sicuramente la ricerca di un'adattabilità delle tecnologie con le altre già presenti, sono tantissimi infatti i filtri pensati per le cineprese normali, o apparecchi da adattare ai proiettori tradizionali per implementare il 3D o il colore. Vitale Casiraghi, già ai suoi tempi, aveva capito che una tecnologia, per essere efficace deve essere di facile utilizzo e di minor impatto possibile, in un ambiente dove le persone sono abituate agli oggetti di uso comune del periodo in cui vive. Il Technicolor stesso, la tecnologia che fece diventare il colore al cinema un fenomeno di massa, venne soppiantato da una tecnologia, l'Eastmancolor, di minore qualità, ma di utilizzo più semplice (per usare l'Eastmancolor bastava comprare delle pellicole particolari, senza bisogno di utilizzare cineprese speciali per la ripresa). In questo periodo il 3D rischia di fare la fine che a suo tempo fece il Technicolor.

In questo periodo il focus degli scienziati che lavorano per trovare idee innovative sul 3D è lo stesso di Vitale Casiraghi: tecnologie adattabili a ciò che conosciamo già, di basso costo e che non hanno bisogno di training speciale per essere utilizzate. Vediamo quindi gli sforzi in questo senso che sono stati fatti negli ultimi anni nel mondo delle riprese stereoscopiche.

7.2 CINEMA AUTOSTEREOSCOPICO (MIT)²

Il 3D di successo deve provare a sbarazzarsi degli occhiali per poter funzionare, Casiraghi ci provò³; sono stati fatti numerosi tentativi in passato per creare monitor autostereoscopici di dimensioni paragonabili a quelle degli schermi cinematografici, ma essendo un sistema che si basa sulla geometria, il problema più grosso era che il numero di angolazioni, dalle quali viene visto lo schermo, è molto grande; inoltre per far sì che lo spettatore percepisca la giusta parallasse, la distanza alla quale vede lo schermo deve essere fissa.

Recentemente (2016) un'equipe di ricercatori dell'MIT, del Weizmann Institute e dell'Università della Saarland hanno ottenuto un buon risultato in questo senso,

² Netalee Efrat et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*, Transactions on Graphics, SIGGRAPH 2016.

³ Vedi capitolo 1, brevetto 25 Maggio 1953.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

sviluppando un sistema automultiscopico⁴, per uno schermo di grandi dimensioni. Il concetto sul quale si fonda il lavoro è il presupposto che gli spettatori si siedono in posti predefiniti e muovono il loro punto di vista di pochi angoli, limitati anche dalla larghezza del posto a sedere; quindi sebbene i punti di vista siano tanti, gli spettatori non sono liberi di muoversi come vogliono e sia gli angoli di visione che i punti di vista sono noti in partenza.

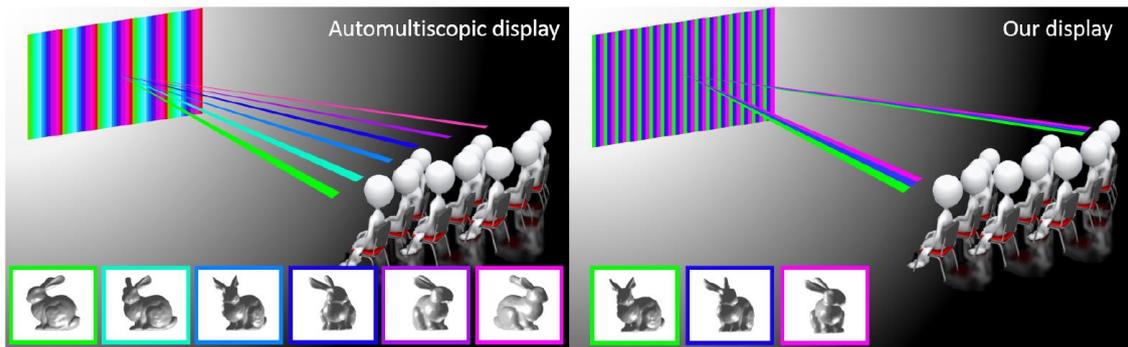


FIGURA 62_SULLA SINISTRA UN DISPLAY AUTOMULTISCOPICO GENERICO, SULLA DESTRA IL DISPLAY SVILUPPATO AL MIT

Se gli spettatori sono seduti sulla stessa fila il problema non è gravissimo: la barriera di parallasse, presente negli schermi autostereoscopici, fa in modo che il punto di vista di un osservatore sia essenzialmente replicato a distanze regolari.

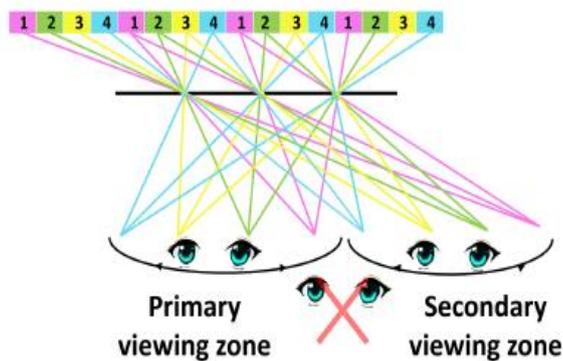


FIGURA 63_SCHERMO A BARRIERA DI PARALLASSE COMPOSTO DA 4 IMMAGINI ANGOLARI DIFFERENTI (INDICATE CON COLORI DIVERSI). UNO SPETTATORE CHE SI TROVA NELLA ZONA DI VISIONE PRIMARIA RIESCE A VEDERE TRE IMMAGINI. UNO SPETTATORE CHE SI TROVA NELLA SECONDA AREA RIESCE A VEDERE LE STESSA TRE IMMAGINI TRASLATE SULLA DESTRA DI UN PIXEL. SE UNO SPETTATORE SI TROVA IN UN'AREA INTERMEDIA POSSONO ESSERE VISTI DEGLI ARTEFATTI E LA VISIONE È SCORRETTA.

⁴ Un sistema automultiscopico è un sistema dove le immagini utilizzate per riprodurre la sensazione di tridimensionalità sono più di due, ognuna delle immagini si definisce immagine angolare.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Il problema vero da risolvere è che le barriere di parallasse classiche lavorano bene a una distanza fissa. Quando la distanza dell'osservatore aumenta, i raggi che si concentrano sull'occhio non provengono tutti dalla stessa immagine angolare e si può verificare un fenomeno di crosstalk parziale, o nei casi più estremi, l'occhio destro percepisce l'immagine destinata a quello sinistro e viceversa, rendendo la stereoscopia impossibile da simulare.

Si può aggiustare il sistema adattandolo ad una nuova distanza di visione, aumentando la distanza tra lo schermo e la barriera, ma una singola distanza non può andar bene per tutte le file.

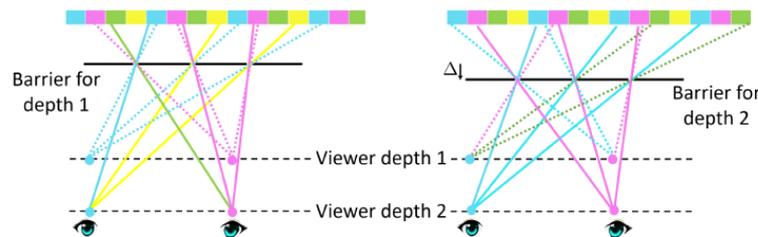


FIGURA 64_DIPENDENZA DELLA BARRIERA DI PARALLASSE DALLA PROFONDITÀ, UNO SPETTATORE (IMMAGINE SINISTRA) ALLA PROFONDITÀ 1 VEDE I RAGGI DI ALCUNE IMMAGINI ANGOLARI, SE SI SPOSTA VEDE I RAGGI PROVENIENTI DA IMMAGINI ANGOLARI DIVERSE. CAMBIANDO LA DISTANZA (IMMAGINE DESTRA) TRA LA BARRIERA E LO SCHERMO SI RISOLVE IL PROBLEMA.

La soluzione sta nel fatto che nei cinema tradizionali le file di sedili sono posizionate ad anfiteatro, con le file anteriori che sono più in basso rispetto a quelle posteriori, per non intralciare la vista. Ciò significa che ogni fila vede lo schermo con un angolo verticale diverso dalle altre file e su questo ragionamento si basa l'idea dei ricercatori.

Lo schermo utilizza due barriere differenti: una orizzontale e una verticale. Occorre premettere due concetti: una barriera che serve a filtrare un raggio sull'asse orizzontale è composta da bande verticali, mentre quella destinata a filtrare i raggi sull'asse verticale è composta da bande orizzontali; inoltre essendo presenti delle barriere frontalmente allo schermo esso deve essere di tipo emissivo, non riflettente.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Nella figura è spiegato in maniera approfondita il concetto.

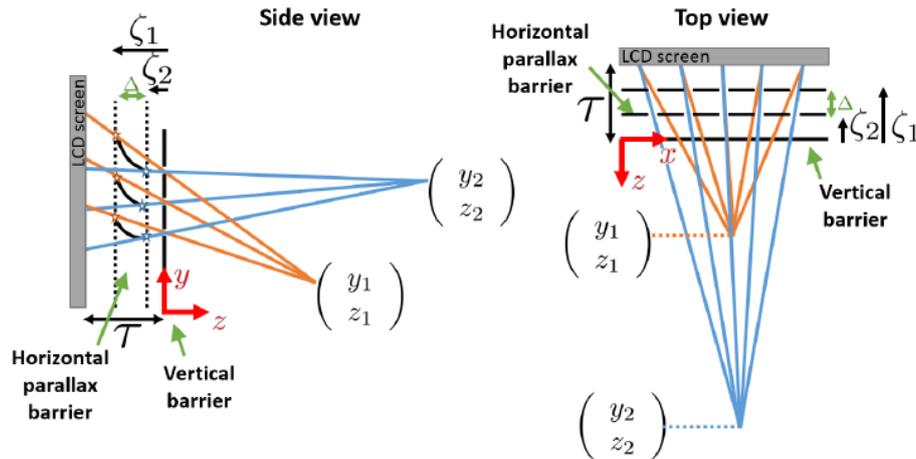


FIGURA 65_ILLUSTRAZIONE SUL FUNZIONAMENTO DELLA BARRIERA DI PARALLASSE SVILUPPATA DAL MIT

I raggi diretti verso uno spettatore seduto in una data posizione (y_i, z_i) sono filtrati dalla barriera verticale; il risultato è che per ogni fila di spettatori, solo i raggi con un certo angolo verticale riescono a passare. Dato che i raggi delle varie file sono separati, è possibile mettere una seconda barriera orizzontale per ogni fila, all'intervallo richiesto dalla distanza sull'asse delle z ; questa seconda barriera è una barriera di parallasse che dipende dalla fila, che filtra i raggi in modo tale che su quella fila sia osservata la giusta disparità. I raggi arancioni, diretti verso la fila a distanza z_1 si intersecano con la barriera di parallasse orizzontale posta alla distanza $\tau - |z_1|$ dallo schermo, e i raggi relativi alla fila a distanza z_2 intersecano la barriera alla distanza $\tau - |z_2|$, per ottenere ciò la barriera orizzontale è costituita da fasce ricurve, tagliate da delle fessure verticali, in modo tale che ad ogni fila arrivi l'immagine giusta.

Lo schermo così ottenuto è dotato di una certa risoluzione verticale e di una certa orizzontale. La risoluzione verticale dipende dalla distanza tra due fasce adiacenti della barriera orizzontale, che possiamo chiamare g . Il numero di righe dell'immagine è dato dalla formula:

$$\#R = \frac{h}{g}$$

Dove $\#R$ sta per numero righe dell'immagine e h sta per altezza dello schermo. E' subito evidente che una risoluzione elevata è possibile quando g è basso.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Tuttavia (come illustrato nelle immagini) c'è bisogno di una minima distanza tra due fasce orizzontali, per evitare che si ostacolino a vicenda.

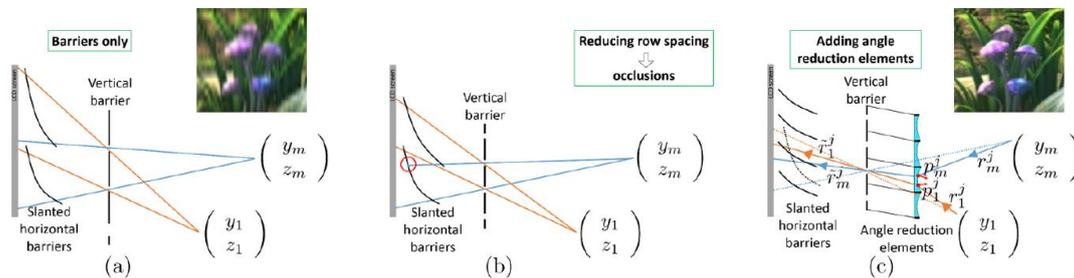


FIGURA 66_EVOLUZIONE DELLO SCHERMO (1° PARTE). VEDIAMO COME LA DISTANZA TRA LE BARRIERE ORIZZONTALI CAUSA UN'ABBATTIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'IMMAGINE (A), OCCORREREBBE AVVICINARE LE BARRIERE, MA CIÒ CAUSEREBBE DELLE OCCLUSIONI (B), PER RISOLVERE IL PROBLEMA VIENE INSERITA UNA SERIE DI LENTI CHE RISOLVE IL PROBLEMA AUMENTANDO LA RISOLUZIONE DELL'IMMAGINE (C).

Per fare in modo che g diminuisca si possono usare degli elementi ottici per ridurre il valore e non far ostacolare i raggi (figura c). Dato che gli spettatori seduti su una stessa fila percepiscono la stessa disparità, il vantaggio è che non c'è bisogno di regolare lo schermo per gli spettatori della stessa fila e quindi, la risoluzione verticale non dipende dal numero di file di posti presenti in sala. La risoluzione orizzontale invece, dipende solamente da k , il numero di immagini angolari che si è scelto di proiettare sullo schermo:

$$\#C = kl_p$$

$\#C$ è la risoluzione orizzontale e l_p è la dimensione di un pixel.

Un altro aspetto fondamentale da tenere sotto controllo è la luminosità dello schermo. Chiaramente le barriere verticali e orizzontali causano un abbattimento della quantità di luce che arriva allo spettatore. Per risolvere anche questo aspetto, è possibile sostituire le barriere con delle lenti che assolvano lo stesso compito.

Per fare in modo che ci sia una piena efficienza luminosa a livello della barriera verticale, è necessario focalizzare tutti i raggi che passano su un'area di altezza g . E' dunque necessario trovare una lente che minimizzi le aberrazioni, sapendo che più la lente è lontana dallo schermo, minori saranno le aberrazioni; bisogna comunque tener conto che lo schermo non può essere troppo spesso. La distanza proposta dai

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

ricercatori è di 84cm, utilizzando lenti piano-convexe a forma cilindrica, il cui unico parametro libero è la lunghezza focale.

Il passo successivo è quello di rimpiazzare anche la barriera orizzontale con dei fogli lenticolari. Tuttavia i raggi intercettano le lenti con un angolo ottuso rispetto alla normale; ciò significa che per la legge di Fresnel, la maggior parte della luce viene riflessa via piuttosto che rifratta. Per risolvere questo problema si può modificare il progetto inserendo degli specchi piuttosto che delle lenti. In figura vengono riassunti tutti i passaggi per giungere alla versione finale del progetto.

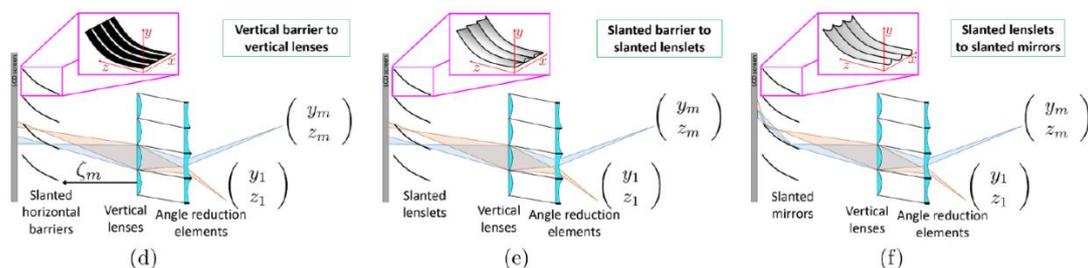


FIGURA 67_EVOLUZIONE DELLO SCHERMO (2°PARTE). RIMPIAZZARE LA BARRIERA VERTICALE CON DELLE LENTI MIGLIORA L'EFFICIENZA LUMINOSA (D), FACENDO CIÒ SI RICONTRANO DEI PROBLEMI DI FOCALIZZAZIONE E QUINDI SI SCEGLIE DI RIMPIAZZARE LE BARRIERE ORIZZONTALI CON DEI FOGLI LENTICOLARI (E), TUTTAVIA CI SI RENDE CONTO CHE DATO L'ANGOLO MOLTA DELLA LUCE VIENE RILESSA ANZICHÈ RIFRATTA. IL PASSO FINALE È QUINDI QUELLO DI SOSTITUIRE LE LENTI CON DEGLI SPECCHI (F).

Lo schermo in definitiva è composto da tre livelli ottici: gli elementi di riduzione dell'angolo (angle reduction elements), la barriera di lenti verticali e gli specchi inclinati orizzontali. Gli elementi di riduzione dell'angolo servono a migliorare la risoluzione verticale, in quanto deviano i raggi, permettendo di utilizzare uno spazio tra le righe inferiore. La barriera di lenti verticali è composta da elementi cilindrici, pensati per ottenere la rifrazione dei raggi provenienti dagli specchi. Infine gli specchi inclinati rimpiazzano la barriera orizzontale: come la barriera infatti, permettono che ogni fila di spettatori percepisca la giusta disparità per ottenere un effetto 3D credibile.

Questo sistema permette un 3D percepibile senza l'uso di occhialini complicando di molto la costruzione dello schermo, ma risulta essere uno dei pochi tentativi di successo di realizzare il cinema autostereoscopico.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

7.3 DISPLAY A CAMPO LUMINOSO (HOLOVIZIO)

Un altro sistema di indubbio interesse è l'HoloVizio, prodotto dall'azienda ungherese Holografika. I componenti base sono un array di sorgenti ottiche (un numero di proiettori piazzati uno accanto all'altro con una disposizione specifica) e uno schermo olografico speciale. I proiettori emettono raggi luminosi basati sul campo visivo della fonte da riprodurre, che può essere ripreso sia utilizzando un sistema particolare di camere, sia renderizzato a partire da un'immagine modellata al computer, che viene successivamente convertita per ottenere le informazioni del campo visivo.

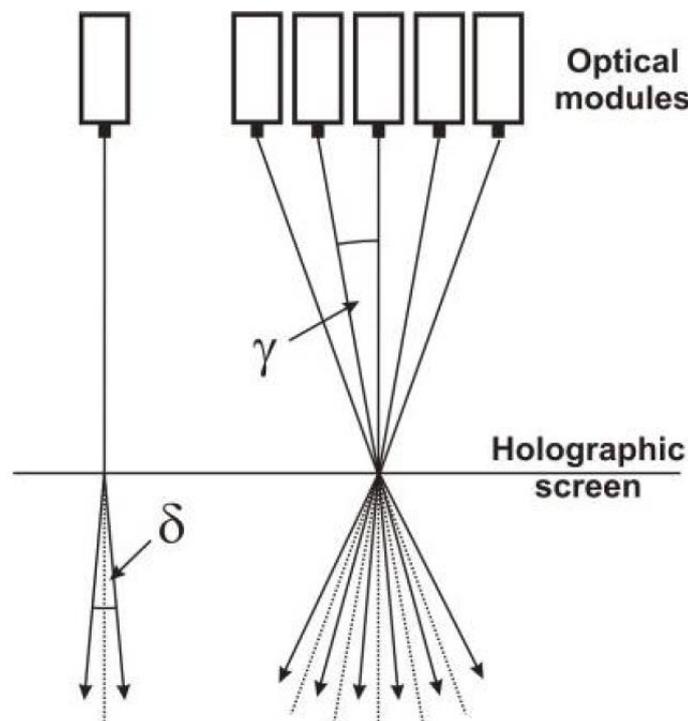


FIGURA 68_PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELL'HOLOVIZIO

I raggi emessi hanno una direzione specifica, e quando colpiscono lo schermo olografico con l'angolo dato dalla posizione dei vari proiettori, vengono deviati. I raggi deviati lasciano lo schermo e raggiungono gli spettatori, la propagazione di questi raggi genera il campo visivo (in inglese field of view o FOV) caratteristico dello schermo (in questo caso sono 180 gradi).

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Non è possibile approfondire il preciso funzionamento dei proiettori, in quanto esso non è stato rilasciato dalla compagnia per questioni di segretezza aziendale⁵, ma possiamo dire che esistono sia versioni a proiezione frontale, che a retro-proiezione. Questi schermi sono stati definiti dagli sviluppatori “display a campo luminoso”, la forma è molto particolare, dando all’HoloVizio una forma che ricorda un po’ quella delle vecchie televisioni a tubo catodico. La differenza fondamentale con il sistema sviluppato dall’MIT è che il monitor non proietta una serie di immagini bidimensionali discrete che combinate danno l’illusione della tridimensionalità, ma un campo visivo di raggi che provengono da diverse direzioni, proprio come in natura. I sistemi multi-vista come quello dell’MIT funzionano in modo tale che l’illusione della tridimensionalità è percepita solo da alcuni punti, detti sweet spots, ciò significa che ci sono tanti campi visivi singoli, ognuno per ogni sweet spot; due osservatori che vedono lo schermo da due punti diversi vedono la stessa immagine con lo stesso angolo.

I display a campo luminoso invece offrono una parallasse di movimento orizzontale continua, che significa che il video viene visto veramente da due punti di vista differenti. Va sottolineato però che questi display permettono di percepire solo la parallasse orizzontale (horizontal-only parallax o HOP), il che significa che spostamenti verticali della posizione non cambiano l’angolo di visione del video (c’è da dire che al cinema non è possibile fare movimenti verticali eccessivi e quindi non ci si renderebbe conto del problema, ciò diventerebbe una complicazione solo se volessimo usare questa tecnologia per la visione domestica).

⁵ Peter A. Kara et al, *Cinema as large as life: large-scale light field cinema system*, 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D), 2017.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

7.4 SCHERMI A CAMPO LUMINOSO PER IL CINEMA

Recentemente è stato proposto il primo progetto per poter usare schermi a campo luminoso per gli spettacoli cinematografici (Large-Scale Light Field Cinema), utilizzando come esempio il Teatro di Liegi, in Belgio.

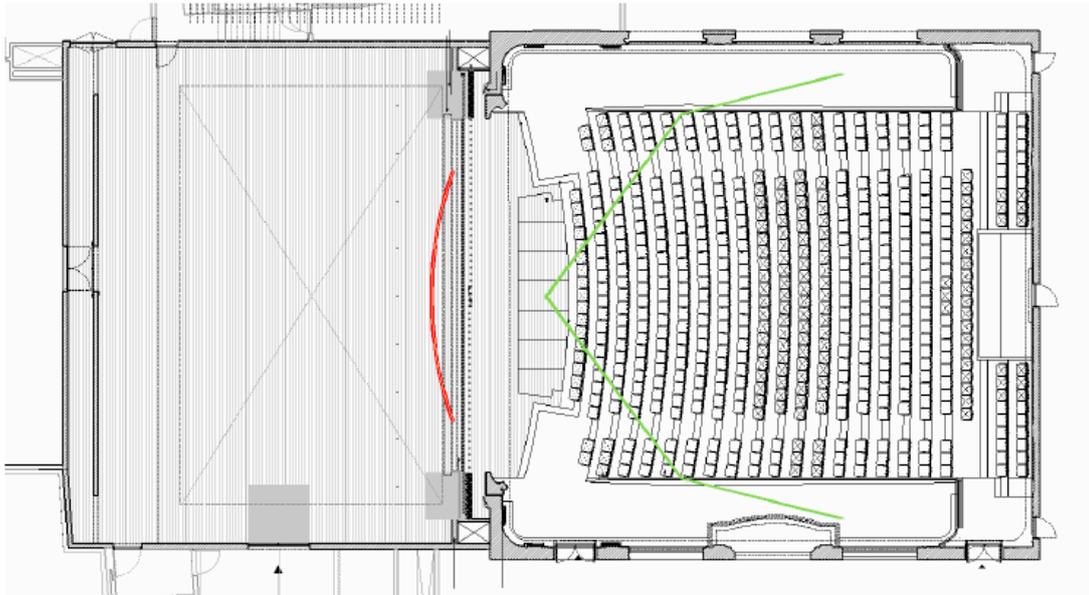


FIGURA 69_SCHEMA DEL PROGETTO DEL TEATRO DI LIEGI, IN ROSSO È INDICATA LA POSIZIONE DELLO SCHERMO, MENTRE IN VERDE È INDICATO IL CAMPO VISIVO UTILE DAL QUALE SI PUÒ PERCEPIRE CORRETTAMENTE LA TRIDIMENSIONALITÀ DELLE RIPRESE.

La sala in esame ha 557 posti a sedere, distribuiti su 24 file. La prima fila ha 12 posti, mentre le file posteriori hanno più posti, fino ad arrivare alle file centrali che ne hanno 26, dando alla sala una disposizione a ventaglio. L'illusione del 3D fa in modo che le immagini appaiano frontalmente allo schermo, le prime due file di posti sono troppo vicine e gli spettatori non percepirebbero la stereopsi, quindi vanno tolte dal design in maniera preventiva.

Come si può vedere, la maggior parte dei posti si può utilizzare per lo spettacolo, ma alcuni vengono esclusi dal campo visivo, dopo la rimozione dei posti superflui, la capacità della sala diventa di 471 posti. Al tempo dello studio, il più grande schermo a campo luminoso era l'HoloVizio C80 Light Field Cinema System, con una dimensione di 3 x 1,8 metri (aspect ratio di 16:9), con un totale di 80 proiettori utilizzati (da lì il nome C80); questo sistema in particolare funziona a proiezione frontale, quindi i proiettori sono dalla stessa parte degli spettatori. Per il progetto, lo schermo viene ingrandito, fino a raggiungere i 10,5 x 4,5 metri, 450 pollici (aspect

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

ratio di 21:9, lo standard per i film a formato anamorfico), con gli spettatori che devono essere seduti a minimo 7 metri dallo schermo. E' necessario inoltre utilizzare 320 proiettori, posti all'incirca all'altezza delle file 10-13.

Il campo visivo che si ottiene è di 107 gradi, ma le ultime tre file potrebbero non percepire bene la tridimensionalità, problema che si può risolvere o rimuovendo le ultime tre file, o aumentando i proiettori, portandoli a 400. Lo standard di luminosità di uno schermo cinematografico è di 48 cd/m². Per ottenere questo risultato sono necessari proiettori da 50 lm, un risultato che praticamente tutti i proiettori oggi in commercio sono capaci di raggiungere (considerando che i proiettori LED FullHD di oggi proiettano dai 1500 ai 2000 lumen, mentre alcuni tipi riescono a raggiungere i 12000).

La sala potrebbe fisicamente ospitare uno schermo largo 15 metri, ma questo modificherebbe altre caratteristiche del sistema, tra cui la capienza della sala. Ingrandendo lo schermo del 20%, otteniamo delle dimensioni di 12,6 x 5,4 metri (540 pollici); la larghezza del campo visivo rimane invariata, ma la distanza minima alla quale si deve porre uno spettatore è di 8,5 metri, in quanto la regione di campo visivo valida per il 3D viene spostata in avanti (e facendo così l'effetto di tridimensionalità diventa più marcato). Ciò risulta in una perdita di sedili utilizzabili, oltre al fatto che i proiettori devono essere spostati più indietro. Scalando le dimensioni originali del 40%, lo schermo avrebbe dimensioni 14,7 x 6,3 metri (o 630 pollici), risultando in una distanza minima dallo schermo di 12,5 metri; il campo visivo verrebbe ridotto a 93 gradi, ma l'efficacia dell'effetto 3D aumenta così tanto, che per permettere alle ultime tre file di percepire in maniera corretta lo spettacolo bastano i 320 proiettori del progetto di partenza. I migliori livelli di ottimizzazione possono essere raggiunti se la sala è progettata in parallelo col sistema di proiezione.

7.5 FOVOGRAFIA

I processi descritti finora sviluppano il 3D, ingegnerizzando schermi che nella loro complessità ottica simulano il funzionamento della luce proveniente da una scena; il rischio è che queste tecnologie siano troppo costose e che difficilmente definiscano

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

una nuova base per lo stereocinema. E' possibile trovare un modo per rappresentare la realtà tridimensionale utilizzando gli schermi standard utilizzati comunemente?

I ricercatori dell'Università di Cardiff hanno approcciato la questione da un punto di vista completamente diverso, il progetto Fovolab⁶ parte infatti dalla Cardiff School of Art, che assemblando un equipe diversificata di artisti, designer, fotografi e psicologi, ha ricercato un modo di riprodurre l'esperienza visiva dell'occhio umano, da poter implementare negli ambiti della pittura e del disegno. Il progetto Fovolab è poi diventato Fovography⁷ dove si cerca di simulare la struttura curvilinea dell'occhio umano e il nostro modo di percepire le scene.

La fovografia non tenta di simulare la stereopsi stimolando diversamente occhio destro e sinistro, tenta invece di creare un'immagine 2D che abbia tutte le caratteristiche tipiche della percezione umana. Il concetto è quello di simulare digitalmente queste caratteristiche: la geometria proiettiva non-lineare (dovuta alla forma del bulbo oculare), le variazioni di acutezza visiva verso la periferia dell'immagine, la diplopia binoculare (il vedere le immagini doppie), variazioni di luminanza, contrasto e profondità di campo.

⁶ Alistair Burleigh et al, *Fovography: a naturalistic imaging media*, 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D), 2017.

⁷ Field-of-view photography, letteralmente fotografia del campo visivo, tradotta come "fovografia".

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere



FIGURA 70_L'IMMAGINE IN ALTO È UNA FOTOGRAFIA FATTA CON UN OBIETTIVO 24MM. L'IMMAGINE IN BASSO INVECE È UN'IMMAGINE GENERATA AL COMPUTER PER SIMULARE LA PERCEZIONE DELLA PROFONDITÀ.

Per ottenere questo risultato c'è bisogno di modellare il comportamento della luce e le interazioni con le superfici, in maniera virtuale, utilizzando processi computazionali che permettano delle manipolazioni dell'immagine. Il processo inizia con l'insieme dei punti che compongono la scena 3D, di cui bisogna conoscere posizione e colore. Questi dati possono essere catturati utilizzando delle videocamere, o generati tramite modellazione. Il software in seguito, applica una serie di trasformazioni matematiche e di traslazioni a questi punti in modo tale da ottenere l'immagine 2D finale. Queste trasformazioni sono differenti rispetto a quelle utilizzate nella pipeline di rendering grafico classica in quanto il sensore della camera virtuale non è planare, può essere ricurvo o addirittura un volume; inoltre non c'è una singola apertura nella camera virtuale, bensì punti di convergenza multipli.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

Ci sono numerose evidenze scientifiche che mostrano che la fovografia è preferita dallo spettatore rispetto ad altri metodi di visualizzazione. Ad esempio, monitorando con uno strumento, i punti dell'immagine sui quali si sofferma lo spettatore, si nota che l'attenzione è maggiore e più focalizzata. Un esperimento è stato fatto, mostrando a dei soggetti la stessa immagine, riprodotta con una lente fisheye, con una lente tradizionale e utilizzando la fovografia. Gli utenti hanno poi valutato l'esperienza, secondo le categorie di liking, spatial presence, ecological validity e comfort. In generale, la fovografia è stata preferita in tutti gli ambiti rispetto agli altri due metodi di rappresentazione.

Un'ulteriore indagine ha mostrato ai partecipanti delle fovografie presentate su uno schermo a 55 pollici (Sony Bravia, KD KD-55X9005A), paragonandola con un'immagine tradizionale fotografata con un grandangolo (presentata sullo stesso schermo), con un visore VR (Oculus Development Kit2) e con uno schermo curvo che copre un campo visivo di 180 gradi (4m di diametro e 1,45m di altezza). Le categorie valutate dagli utenti erano le stesse del primo esperimento. Il risultato è stato che le fovografie hanno mostrato la stessa efficacia del VR e dello schermo curvo in quasi tutti i settori, anche se il VR ha mostrato un'immersività notevolmente maggiore. Si può desumere che la fovografia offre un'immersività comparabile a quella di uno schermo curvo, ma utilizzando uno schermo molto più piccolo; inoltre il livello di piacere e quello di comfort sono paragonabili a quelli della VR, col vantaggio che l'utente non ha bisogno di indossare un display, che alla lunga può appesantire la fruizione del prodotto.

7.6 FOTOGRAFIA PLENOTTICA

Un'altro interessante tentativo per cercare di catturare la tridimensionalità di una scena è rappresentato dalla tecnologia plenottica. Nella fotografia digitale classica si registrano le informazioni di luminosità e colore su delle fotocellule disposte su una griglia, ognuna delle quali rappresenta un pixel. L'obiettivo della fotografia plenottica invece è quello di catturare le informazioni sul campo luminoso della scena; in questo modo è possibile modificare la profondità di campo e il piano di messa a fuoco della scena rappresentata anche dopo aver scattato la fotografia.

La fotocamera registra la direzione di provenienza dei raggi luminosi della scena verso il sensore: ciò che viene memorizzato è solo una porzione del campo luminoso della scena e il piano di messa a fuoco può essere spostato in fase di postproduzione solo in quel range di distanze. La risoluzione di queste macchine viene infatti misurata in Mray, ovvero in quanti milioni di raggi di luce possono essere catturati.

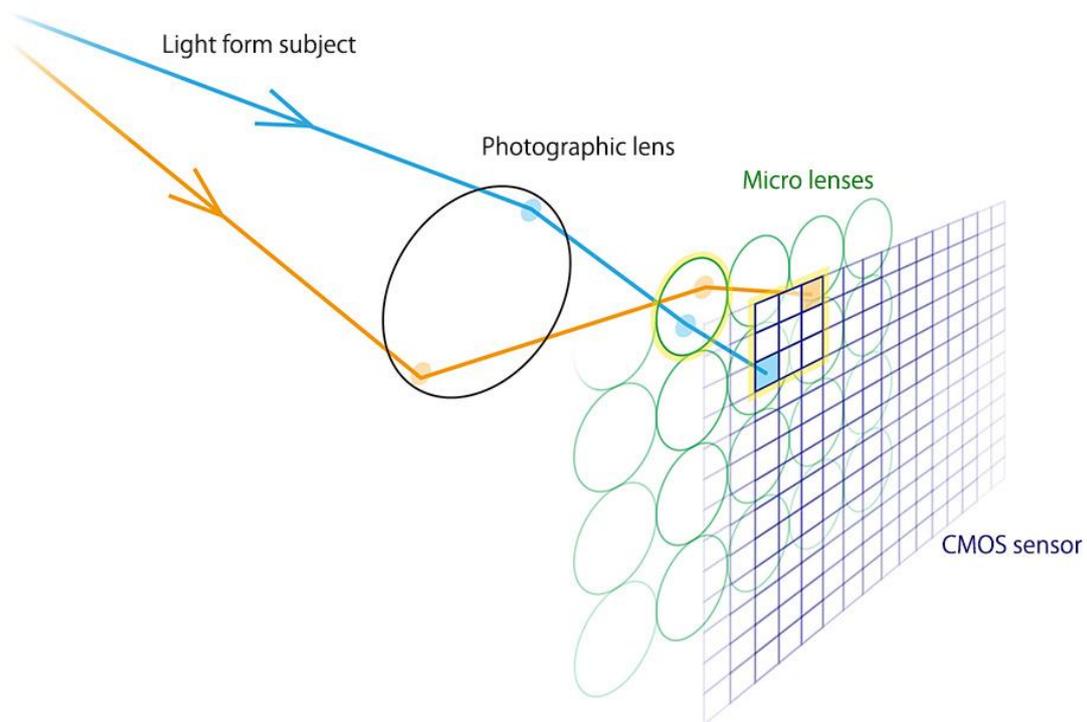


FIGURA 71_ILLUSTAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DELLA TECNOLOGIA PLENOTTICA

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

L'ottica di queste camere è composta da numerose microlenti, ognuna delle quali proietta un'immagine sul sensore proveniente da un differente piano di messa a fuoco; questo sensore è studiato in maniera tale da poter registrare un'immagine per ogni microlente; in seguito quindi si può scegliere quale delle immagini utilizzare per il piano di messa a fuoco, l'area d'immagine che risulterà fuori fuoco avrà una sfocatura naturale relativa al piano scelto, non ricostruita artificialmente.

Dato che la superficie del sensore deve essere suddivisa per registrare le sottoimmagini provenienti da ogni microlente, la risoluzione risulterà inferiore (almeno di non ingrandire il sensore con proporzioni smisurate). Un aspetto positivo è la riduzione del rumore digitale, essendo il sensore più piccolo infatti, la luce proveniente dalla lente è distribuita su un'area più piccola e quindi ci sarà più luminosità per area⁸.

Dato che queste fotocamere sono capaci di registrare il campo luminoso di una scena, una fotografia plenottica può essere utilizzata tranquillamente per ricostruire una rappresentazione tridimensionale della scena tramite software, rendendo possibile la creazione di immagini stereoscopiche.

Queste macchine fotografiche sono state presentate sul mercato nel 2012 dall'azienda americana Lytro. Ad aprile 2014 venne presentata la Lytro Illum, al prezzo di 1.600\$, la Illum montava un obiettivo 30-250mm f/2.0 e aveva un sensore da 40 megapixel, che risultava in un'immagine comparabile con quella che si otterrebbe con una camera tradizionale da 4 megapixel.

⁸ Proprio per questo motivo un buon metodo per fare fotografia astronomica senza avere una fotocamera apposita, è quello di utilizzare una webcam o una camera dal sensore molto piccolo, che riducendo il rumore permette di ottenere immagini stellari più precise.

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

La Lytro ha chiuso i battenti il 27 Marzo 2018, ma l'azienda americana Google sarebbe intenzionata ad acquisire i più di 59 brevetti depositati dall'azienda per riconvertirli per progetti legati alla realtà virtuale⁹.

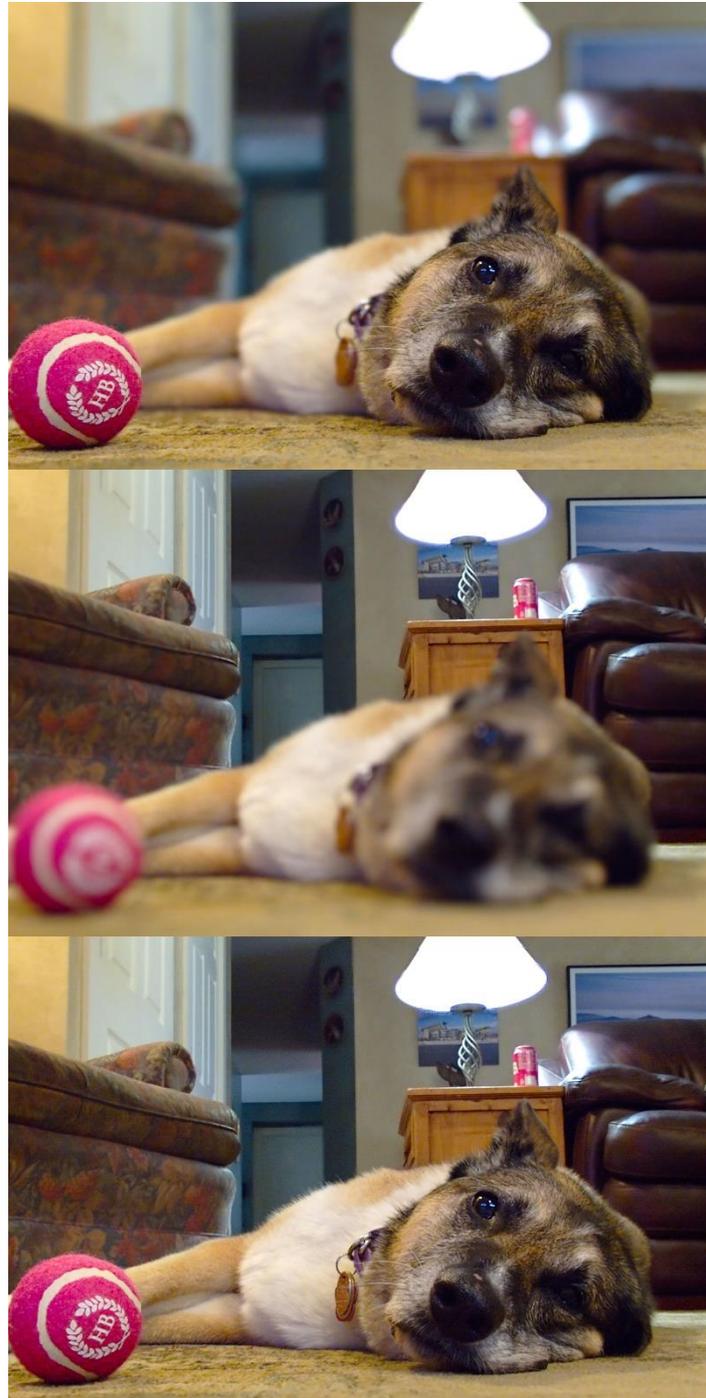


FIGURA 72_EFFETTO DI RE-FOCUSING E AGGIUSTAMENTO DELLA PROFONDITÀ DI CAMPO DELLA LYTRO
ILLUM: FUOCO VICINO (IMMAGINE IN ALTO), FUOCO LONTANO (IMMAGINE DI MEZZO) E GRANDE
PROFONDITÀ DI CAMPO (IMMAGINE IN BASSO).

⁹ Fonte: <https://techcrunch.com/2018/03/20/sources-google-is-buying-lytro-for-about-40m/>

conclusioni

In questo lavoro abbiamo analizzato nel profondo la cinepresa Casiraghi, trovando superficiale l'idea che fosse una semplice macchina per riprendere i colori:

- Il proiettore presente in archivio presenta una tecnologia assolutamente incompatibile con quella della cinepresa.
- Nel periodo in cui è stata sviluppata la cinepresa il colore era già stato sviluppato in un modo più professionale rispetto alla semplice bicromia.
- Casiraghi, nei brevetti presenti in archivio, non utilizzò mai la bicromia per sviluppare la ripresa a colori.
- La cinepresa, prendendo due immagini da due punti di vista differenti, creerebbe un effetto di parallasse spaziale che renderebbe le riprese di bassissima qualità.

Il fatto che vengano riprese due immagini differenti dalla cinepresa è stato anche confermato dai test fatti in laboratorio, dove si nota che la scena di fronte all'obiettivo si sdoppia a livello della pellicola, inoltre come abbiamo visto, simulando una fotografia stereoscopica con gli stessi parametri della cinepresa, otteniamo un buon risultato, anche se con qualche limitazione.

L'ipotesi che la macchina fosse un prototipo di cinepresa stereoscopica è dunque plausibile, anche se rimangono ancora molti dubbi, come abbiamo visto, che sono legati principalmente al fatto che noi non conosciamo il funzionamento di un'eventuale proiettore legato a questa cinepresa.

Nell'ultimo capitolo abbiamo anche visto come Vitale Casiraghi avesse delle idee anacronistiche per un uomo della sua epoca, e come oggi, molti studi si stanno spingendo per realizzare quello che lui aveva ipotizzato nel lontano 1953.

Auspichiamo che in futuro, da qualche parte presso Camogli, possa spuntar fuori un proiettore misterioso, e che qualche laureando in Ingegneria del Cinema sviluppi una tesi su quel pezzo.

Noi per ora ci fermiamo qui.

fonti bibliografiche e sitografia

capitolo 1 – la macchina

CARANTI C., FRIEDMANN A., *Dizionario dei brevetti di cinema e fotografia rilasciati in Italia 1894-1945*, ed. Biblioteca FERT, 2006.

SOUTO H.M.R., *Motion Picture Photography: A History, 1891-1963*, McFarland&Company Inc. Publishers, 2007.

Wikipedia (2019), “Francita”. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Francita>. (Ultimo accesso: 17/02/2019).

CASIRAGHI V., *Complesso ottico prismatico policromico per films a colori in rilievo*, Brevetto per invenzione industriale, 25 Maggio 1953.

SACCHI F., Corriere di cinelandia, in “*Il Corriere della Sera*”, 7 Novembre 1937.

Appunti sulla vita di Vitale Casiraghi redatti da Maria Adriana Prolo archiviati al Museo del Cinema di Torino.

capitolo 2 – storia del colore al cinema

FALCINELLI R., *Cromorama*, ed. Einaudi, 2017.

BOTTINO A., *Corso di Realtà Virtuale*, appunti del corso, Facoltà di Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, a.a. 2016-2017.

MARTELLA V., *Ottica visuale*, dispense al corso di Ottica ed Optometria, Dipartimento di Matematica e Fisica dell’Università del Salento, a.a. 2017-2018.

PERON F., *Occhio, luce e colore*, dispense al corso di Acustica applicata e Illuminotecnica, Università IUAV Venezia, 2018.

LAI. M.E, *Magia del colore*, dispense al corso di Didattica della Fisica e Laboratorio, Università degli studi di Genova, a.a. 2006/2007.

BROWN B., *Motion Picture and Video Lighting 2nd edition*, ed. Focal Press, 2013.

fonti bibliografiche e sitografia

CIARAMELLA A., *Storia del makeup: La pellicola ortocromatica*.
<https://www.timelessbeauty.it/pellicola-ortocromatica/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

LAZENBY L., *What is Pancromatic and Orthochromatic film?*
<https://filmphotographyproject.com/content/howto/2018/07/panchromatic-orthochromatic-film/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

cosmeticsandskin.com (2018), *Panchromatic make-up*,
<https://www.cosmeticsandskin.com/cdc/panchromatic.php> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

FLUECKINGER B. (project leader), *Timeline of Historical Film Colors*.
<https://zauberklang.ch/filmcolors/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

RONDOLINO G., *Storia del Cinema*, ed. UTET, 2006.

FRIEDMANN A. (a cura di), *I brevetti del cinema muto torinese*, ed. Biblioteca FERT, 2005.

YouTube (2019). *The History of Science and Color Film: from Isaac Newton to Coen Brothers*.
https://www.youtube.com/watch?v=IRheZ_MUYiY&t=854s (Ultimo accesso: 17/02/2019).

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

CASIRAGHI V., *Nouveau film en couleurs naturelles et son procédé de fabrication*, Brevetto per invenzione industriale, 8 Marzo 1924.

CASIRAGHI V., *Nouveau procédé pour filmer une scène ou vuè et la reproduire sur l'écran sous son aspect naturel*, Brevetto per invenzione industriale, 29 Aprile 1924.

CASIRAGHI V., *Nouveau procédé pour enregistrer et reproduire les chants ou sons d'une scène ou vue cinématographique*, Brevetto per invenzione industriale, 29 Aprile 1924.

CASIRAGHI V., *Procédé pour la cinématographie en couleurs naturelles supplémenté du blanc optique*, Brevetto per invenzione industriale, 5 Marzo 1928.

CASIRAGHI V., *Procédé et dispositif de cinématographie en couleurs naturelles*, Brevetto per invenzione industriale, 8 Giugno 1931.

CASIRAGHI V., *Perfectionements apportés aux appareils de prise de vues cinématographiques*, Brevetto per invenzione industriale, 21 Luglio 1932.

GIOVANNETTI E., *Il colore nel cinema*, in "La lettura", 1 Gennaio 1936.

O.O., *Nuovo procedimento di film a colori inventato da un italiano*, in "Il giornale di Genova", 15 Maggio 1936.

CASIRAGHI V., *Cinematografia a colori*, Settembre-Ottobre 1936.

fonti bibliografiche e sitografia

SACCHI F., *Corriere di cinelandia*, in "Il Corriere della Sera", 7 Novembre 1937.

Autore anonimo., *Verso la perfezione - Film a colori*, in "Cinema", 25 Dicembre 1937.

capitolo 4 – principi del 3D

LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*, ed. Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

BOTTINO A., *Corso di Realtà Virtuale*, appunti del corso, Facoltà di Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, a.a. 2016-2017.

GONNELLI L., NOTARANGELO I., *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte*, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

Wikipedia (2019), "Visione binoculare"
https://it.wikipedia.org/wiki/Visione_binoculare (Ultimo accesso: 17/02/2019).

MARTELLA V., *Ottica visuale*, dispense al corso di Ottica ed Optometria, Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università del Salento, a.a. 2017-2018.

SIDDI F., *Cinema Stereoscopico*, ed. Apogeo, 2011.

capitolo 5 – tecnica del 3D

LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*, ed. Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

BOTTINO A., *Corso di Realtà Virtuale*, appunti del corso, Facoltà di Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, a.a. 2016-2017.

GONNELLI L., NOTARANGELO I., *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte*, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

Wikipedia (2019), "Barriera di parallasse"
https://it.wikipedia.org/wiki/Barriera_di_parallasse (Ultimo accesso: 17/02/2019).

megalab.it (2011), *Tecnologia 3D: come funziona realmente?*,
<http://www.megalab.it/7648/stampa/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

nzphoto.tripod.com (2019), *Bercovitz Formulae for stereo base*,
<http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm#bercovitz> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

capitolo 6 – analisi macchina

BOTTINO A., *Corso di Realtà Virtuale*, appunti del corso, Facoltà di Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, a.a. 2016-2017.

fonti bibliografiche e sitografia

GONNELLI L., NOTARANGELO I., *Stereoscopia: teoria e stato dell'arte*, Tesi di Laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, 2010.

DE SETA M., *Dispense di Ottica Geometrica*, dispense al corso di Elementi di Ottica, Università di Napoli, 2013.

Wikipedia (2019), "Keystone effect" https://en.wikipedia.org/wiki/Keystone_effect (Ultimo accesso: 17/02/2019).

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

mpaa.org (2017), *Theme report. A comprehensive analysis and survey of the theatrical market and home entertainment market environment (THEME) for 2017*, https://www.mpa.org/wp-content/uploads/2018/04/MPAA-THEME-Report-2017_Final.pdf (Ultimo accesso: 17/02/2019).

GHIDOTTI C., *C'era una volta il 3D, al cinema*, <https://www.webnews.it/2018/04/06/cinema-3d/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

DE MORI M., *Lytro Illum: è una nuova era per la fotografia?* <https://www.wired.it/gadget/foto-e-video/2014/04/23/lytro-illum-fotografie-muovere/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

LONGHITANO L., *Google potrebbe acquisire Lytro, la startup delle foto messe a fuoco dopo lo scatto* <https://www.wired.it/economia/business/2018/03/21/google-lytro-light-field/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

tecnicafotografica.net (Podcast 2018), *La fotocamera plenottica* <https://tecnicafotografica.net/blog/9d2ixqro3m5b3a64mq7kefxk7xqu1f> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

LUNDEN I., *Sources: Google is buying Lytro for about \$40M* <https://techcrunch.com/2018/03/20/sources-google-is-buying-lytro-for-about-40m/> (Ultimo accesso: 17/02/2019).

BURLEIGH A. et al, *Fovography: a naturalistic imaging media*, 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D), 2017.

KARA P.A. et al, *Cinema as large as life: large-scale light field cinema system*, 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D), 2017.

NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*, Transactions on Graphics, SIGGRAPH 2016.

BALOGH T. et al, *The Hologvio System – New Opportunity offered by 3D displays*, Proceedings of the TMCE 2008.

fonti delle immagini

Ultima consultazione: 17/02/2019

capitolo 1 – la macchina

Figura 1_foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 2_ <https://zauberklang.ch/filmcolors/>

Figura 3_ <https://zauberklang.ch/filmcolors/>

Figura 4_ foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 5_ foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 6_ foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 7_ foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 8_ illustrazione del brevetto Casiraghi 25 maggio 1953

capitolo 2 – storia colore al cinema

Figura 9_ <https://visionfuture.it/wp-content/uploads/2018/07/vision-future-anatomia-occhio-disegno.jpg>

Figura 10_ FALCINELLI R, *Cromorama*.

Figura 11_ FALCINELLI R, *Cromorama*.

Figura 12_ FALCINELLI R, *Cromorama*.

Figura 13_ <https://www.crearecreativita.it/sintesi-additiva-e-sintesi-sottrattiva/>

Figura 14_

<http://www2.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/jidong/index.html>

Figura 15_ <https://en.wikipedia.org/wiki/Orthochromasia>

Figura 16_ <https://zauberklang.ch/filmcolors/timeline-entry/1212/#/image/28563>

Figura 17_ <https://zauberklang.ch/filmcolors/timeline-entry/1217/#/image/4897>,

https://zauberklang.ch/filmcolors/wp-content/uploads/2013/05/Lichtspiel_227264_DagliAppeniniAlleAnde_Tinting2.jpg

Figura 18_ https://zauberklang.ch/filmcolors/timeline-entry/1214/?_sf_s=kinemacolor#/image/2461

Figura 19_ https://zauberklang.ch/filmcolors/wp-content/uploads/2013/05/Technicolor_SamsonDelilah_2.jpg

capitolo 3 – Casiraghi e il colore

Figura 20_ illustrazioni brevetto 8 marzo 1924

Figura 21_ illustrazioni brevetto 29 aprile 1924

Figura 22_ illustrazione brevetto 8 giugno 1931

Figura 23_ illustrazione brevetto 8 giugno 1931

Figura 24_ illustrazione brevetto 8 giugno 1931

Figura 25_ illustrazione brevetto 8 giugno 1931

Figura 26_ illustrazione articolo villa olmo 1936

fonti delle immagini

Figura 27_ illustrazione articolo cinema 25/12/1936

capitolo 4 – principi del 3D

Figura 28_ <http://www.di.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid534706.pdf>

Figura 29_ illustrazione originale

Figura 30_ illustrazione originale

Figura 31_ https://it.wikipedia.org/wiki/Prospettiva_aerea

Figura 32_ illustrazione originale

capitolo 5 – la tecnica del 3D

Figura 33_ LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*

Figura 34_ LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*

Figura 35_ LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*

Figura 36_ LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*

Figura 37_ LIPTON L., *Foundations of stereoscopic cinema. A study in depth*

Figura 38_ illustrazione originale

Figura 39_ illustrazione originale

Figura 40_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

Figura 41_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

Figura 42_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

Figura 43_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

Figura 44_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

Figura 45_ <http://www.megalab.it/7648/stampa/>

capitolo 6 – analisi macchina

Figura 46_ illustrazione originale

Figura 47_ illustrazione originale

Figura 48_ illustrazione originale

Figura 49_ illustrazione originale

Figura 50_ foto scattata durante i test

Figura 51_ foto scattata durante i test

Figura 52_ foto scattata durante i test

Figura 53_ foto scattata durante i test

Figura 54_ foto scattata durante i test

Figura 55_ foto scattata durante i test

Figura 56_ illustrazione originale

Figura 57_ foto scattata per la simulazione

Figura 58_ foto scattata per la simulazione

Figura 59_ foto d'archivio Museo del Cinema

Figura 60_ illustrazione originale

capitolo 7 – evoluzione del 3D, ultime frontiere

fonti delle immagini

Figura 61_ <https://pmcdeadline2.files.wordpress.com/2018/04/mpaa-theme-report-2017.pdf>

Figura 62_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 63_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 64_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 65_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 66_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 67_ NETALEE E. et al, *Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display*

Figura 68_ BALOGH T. et al, *The Hologvizio System – New Opportunity offered by 3D displays*

Figura 69_ KARA P.A. et al, *Cinema as large as life: large-scale light field cinema system*

Figura 70_ BURLEIGH A. et al, *Fovography: a naturalistic imaging media*

Figura 71_ <https://www.picturecorrect.com/tips/the-future-of-light-field-cameras-and-how-they-work/>

Figura 72_ https://en.wikipedia.org/wiki/Light-field_camera#/media/File:Lytro_Illum_light_field_camera_demonstration.jpg

ringraziamenti

Il processo di stesura di questa tesi è stato sicuramente impegnativo, ma veramente appassionante. Vorrei ringraziare in primo luogo il Museo del Cinema di Torino nella figura di Isabella Isoardi per la gentilezza e l'estrema disponibilità a farmi accedere in ogni momento a tutto il materiale che è servito per il lavoro. Un ringraziamento speciale è dedicato a Marco Demmelbauer e a tutto il Centro di Restauro di Venaria Reale, che con estrema pazienza (veramente estrema!) ci ha aiutato a raggiungere un ottimo risultato.

Ringrazio il prof. Marco Rodolfo Galloni dell'Università di Torino per la professionalità e l'esperienza che ha messo in campo e l'intero ASTUT (uno dei patrimoni dimenticati di Torino), senza il quale sarebbe stato impossibile procedere all'analisi ottica della cinepresa.

Ringrazio Luciana per il grandissimo lavoro di traduzione dei brevetti dal francese all'italiano, senza il quale adesso starei ancora provando a scrivere la pagina 1 di questa tesi.

Prima di passare ad amici e famiglia si ringraziano infine i relatori Vittorio Marchis e Bartolomeo Montrucchio.

Adesso si passa a tutti quelli che mi hanno sopportato in questi mesi dove sono stato burbero e teso. Luciana, senza la quale sarei un'anima molto ma molto meno felice, si becca un secondo ringraziamento per il grande supporto morale totale mondiale che mi ha dato in questi difficili mesi.

Ai miei genitori se potessi dedicherei una statua d'oro, a mio padre per tutte le strategie che abbiamo adottato per rifinire il lavoro e a mia madre per l'immane e infinito supporto. Mia sorella ha un posto speciale perchè in questo periodo mi ha reso un felicissimo e fiero zio.

L'immane Salvo lo ringrazio per essere una delle costanti di tutti i momenti belli della mia vita.

In ordine sparso ringrazio i Nanneddis, un gruppo di persone introvabili, che ha reso questi anni a Torino speciali; Shan che con il suo eterno sorriso riempie ogni momento; tutti i compagni di avventura in questi anni di Ingegneria del Cinema, tra

ringraziamenti

gossip, cortometraggi, progetti e vacanze a Villasimius; OndeQuadre, una delle perle rare di questo ateneo; Dostoevskij per avermi fatto capire in questi mesi che il bello esiste.