Part un - Le lèj dl'òtica geométrica

An costa part i doma n'uciada a còs a l'é la lus, quaj ch'a son ij parameter ch'a la carateriso (unità 'd misura) e quale ch'a son le lèj fondamentàj che a régolo la propagassion dla lus. I vardoma 'd nen dovré tròp ij concét dl'òtica ondulatòria, che i tratroma da n'àutra part. Arbariment e arfrassion a son ij fenòmeno che pì an anterésso. I parloma 'dcò dël prinsìpi 'd Fermat e i foma n'acénn al prinsìpi ëd Huygens, che i arpijroma peui a la fin ëd costa session d'òtica.. Peui i parloma 'ncora dj'element òtich (vis-a-dì ij prisma, e ij diòtr arbatent e arfrangent). An fin i foma na cita ciaciarada an sla difusion dla lus e ij color.

TÀULA DLA PRIMA PART

L'òtica geométrica - prinsìpi 85
Còs a l'é la lus 85
Fotometrìa 86
Fluss luminos e Lumen 86
Intensità luminosa e Candèila 87
Anluminament 88
Luminansa 88
Le lèj fondamentaj 88
Propagassion për righe drite 88
Lèj dla riflession (arbatiment) 89
Lèj dla rifrassion (arfrassion) 89
L'ìndes d'arfrassion 90
Camin òtich 91
Equassion dël ragg 91
Camin òtich 93
Anvertibilità dij camin òtich 93
Prinsìpi 'd Fermat 94
Acénn al prinsìpi 'd Huygens e a la régola 'd Malus 95
Mojen con ìndes d'arfrassion variàbil 97
Equassion dij ragg parassiaj 97
Equassion Eiconal 98
J'element òtich 99
Ij prisma arbatent 99
Ij prisma arfrangent 100
Lastra pian-a 100
Prisma a surfasse nen paralele 101
Lus nen monocromàtica 102
Combinassion ëd prisma 104
Spetroscòpi a prisma 104
Usagi dlë spetroscòpi 106
Ël diòtr ësférich 106
Formassion dl'imàgin 108

Jë spécc 109
Jë spécc paraboloidaj 109
Jë spécc elissoidaj 110
Jë spécc sférich 111
Jë spécc pian e l'imàgin vitrual 112
La difusion dla lus e ij color 113
Ël color 113
Ij color ëd base e coj complementar 114

TÀULA DLE FIGURE DLA PRIMA PART

Figura 1 - Misura dla velocità dla lus 86
Figura 2 - Curva 'd visibilità 87
Figura 3 - Arbatiment dij ragg ëd lus 89
Figura 4 - Arfrassion dla lus 90
Figura 5 - Àngol lìmit - arbatiment total 91
Figura 6 - Relassion fra ìndes d'arfrassion e curvadura dël ragg 91
Figura 7 - Component dël versor normal a la surfassa 'd livél n 92
Figura 8 - Aplicassion dël prinsìpi 'd Fermat 94
Figura 9 - Arfrassion second ël prinsìpi 'd Huygens 96
Figura 10 - Surfasse eiconaj e ragg ant un mojen omogéni 98
Figura 11 - Prisma dovrà a arbatiment total 99
Figura 12 - Catarifrangent 100
Figura 13 - Arfrassion ant na lastra pian-a 100
Figura 14 - Prisma (surfasse nen paralele) 101
Figura 15 - Condission ëd deviassion mìnima 102
Figura 16 - Dispërsion dij ragg nen monocromàtich 103
Figura 17 - Indes d'arfrassion an fonsion dla longhëssa d'onda 103
Figura 18 - Combinassion ëd prisma 104
Figura 19 - Spetroscòpi a prisma 105
Figura 20 - Diòtr ësférich 107
Figura 21 - Distanse a l'anfinì 108
Figura 22 - Formassion dl'imàgin da part d'un diòtr 108
Figura 23 - Spécc paraboloidal 110
Figura 24 - Spécc elissoidal 110
Figura 25 - Spécc ësférich 111
Figura 26 - Spécc pian 112
Figura 27 - Composission për sotrassion 115
Figura 28 - Color maròn fàit për adission. 115

L'ÒTICA GEOMÉTRICA - PRINSÌPI

L'òtica geométrica a ten nen cont dla natura dla lus coma radiassion eletro-magnética e as basa an sla propagassion dij ragg an riga drita. A l'é ciàir che costa a l'é n'aprossimassion che però a l'é sovens motobin precìsa. Sòn a càpita, an particolar, cand le dimension linear dj'ogét che a anteragisso con la lus a son motobin gròsse rispét a le longhësse d'onda dla lus midema. An costa aprossimassion le lèj dla propagassion dla lus a dvento motobin sempie, e l'òtica geométrica a l'é lë studi 'd coste lèj, e soe aplicassion a la teorìa djë strument òtich.

Ste lèj aprossimà, macassìa, a peulo esse aplicà a qualonque propagassion d'onde eletro-magnétiche, fin-a a la mira che a sio 'ncora rispetà le limitassion ch'i 'oma dit prima. A l'é ciàir che pì la frequensa a l'é àuta e pì facil a son rispetà le limitassion (arcordoma : dimension dj'ogét gròsse rispét a le longhesse d'onda).

A sto propòsit i l'oma giusta vist, parland d'acùstica, quaicòs che a smija da davzin a lòn ch'i l'oma dit. Ëdcò për j'onde dël son a valo 'd lèj smijante a cola dl'òtica geométrica cand le dimension dj'ogét a son gròsse rispét a la longhëssa d'onda.

Ij fenòmeno d'emission, assurbiment, interferensa e polarisassion dla lus a fan nen pàrt dl'òtica geométrica, ma 'd n'àutra part dla Fìsica. A intro, an efét, ant lë studi dj'onde eletro-magnétiche, che i vëddroma magara peui ant n'àutra session.

Le lèj dl'òtica geométrica a valo 'dcò an vàire cas ëd moviment ëd partìcole elementar, coma eletron, jon, àtom, a la mira che a son sovens dovrà ëdcò an costi cas, andova le lèj dl'òtica geométrica a peulo esse generalisà fin-a a consideré 'l moviment ëd coste partìcole pì ò manch elementar an vàire aplicassion.

Còs a l'é la lus

A dëspét ëd lòn ch'i l'oma pen-a finì 'd dì, i disoma quaicòs a la bon-a a propòsit ëd còs a l'é la lus (ciàir che i 'ndoma nen ant l'ancreus).

A fan part dle radiassion visìbij cole radiassion eletro-magnétiche che a l'han na longhëssa d'onda fra ij *400 nm* e ij *700 nm* a-peu-pré. L'ansema 'd coste radiassion a forma la lus bianca, parèj com an ven dal sol. An efét as trata 'd la lus emëttùa da un còrp che as treuva a na temperatura ëd pì ò manch 6000 ºK. Se i consideroma na radiassion ëd na sola frequensa ant ël camp visìbil, i l'oma na lus "*monocromàtica*". La frequensa visìbil la pì àuta a corispond a la lus violëtta, mentre cola la pì bassa a corispond a la lus rossa. Antrames as passa con continuità travers l'ìndach, l'asur, ël verd, ël giaun, ël groson.

Ant ël veuid la lus as propaga con na velocità àuta ma finìa, che a val *299'792'458 [m / s]*. La prima manera për misuré costa velocità su distanse nen astronòmiche a l'é stàita cola dovrà da Fizeau ant ël 1849.

Ël sistema, an soa forma la pì sempia, a l'é mostrà an figura 1 e a l'é basà an 's na roa dentà *R* che a vira a na dàita velocità angolar ω che a peul esse fàita cambié. Na sors ëd lus motobin fòrta a manda soa lus a un colimator che a la fà passé fra ij dent ëd na roa dentà che a peul viré a na velocità angolar ω che a peul esse varià.

Prima 'd traversé la roa dentà 'l ragg a traversa un véder semi-rifletent dont i vëddroma 'l but. Ël ragg, bin colimà, a contìnua an 's na distansa 'd quàich chilòmeter. A l'ariv a-i é në spécc che a arbat andarera 'l ragg. Parèj ël ragg a torna 'ndarera a passé fra ij dent dla roa dentà. A sta mira 'l véder a dévia vers ël pont d'osservassion na part dla lus ch'a torna .

Cand la roa a vira pian, al pont d'osservassion as vëdd la lus ch'a torna andarera dòp ch'a l'ha fàit doi vire la distansa : *mortasadura fra doi dent, spécc, mortasadura fra doi dent.* Tornand andarera la lus a passa da l'istéssa mortasadura andova a l'é passà ant l'andé, përchè la roa a l'é nen spostasse a basta.

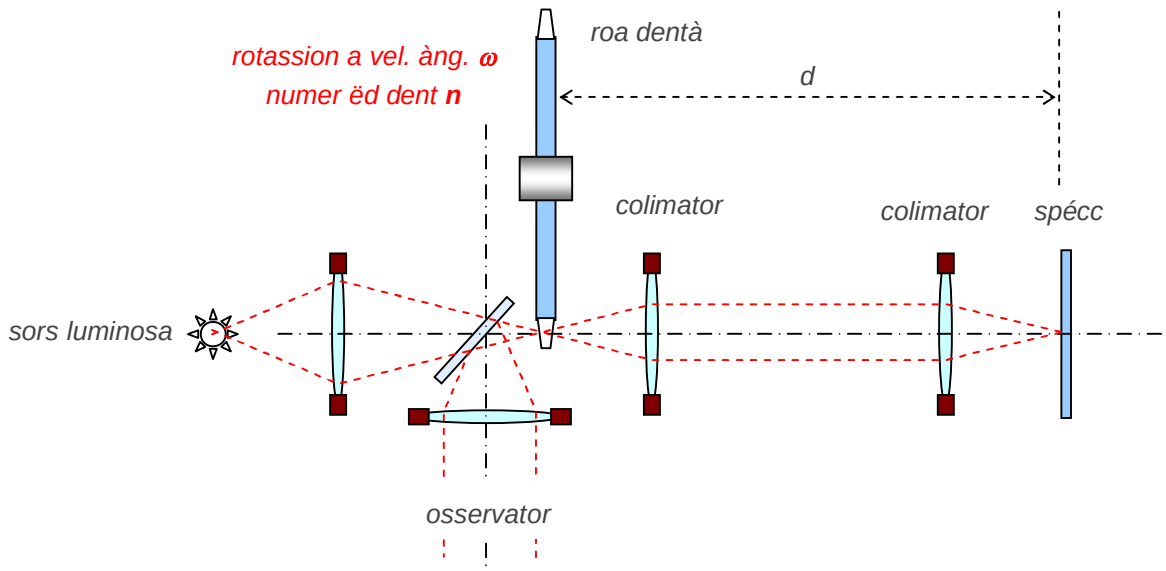

Figura 1 - Misura dla velocità dla lus

Cand la velocità angolar dla roa a chërs, la lus che a torna andarera a comensa a trovésse anans na part dël dent e a passa pì nen tuta. L'osservator a comensa a vëdde la luminosità che a cala. Aumentand ancora 'l nùmer dij gir l'osservator a vëdd pì nen la lus arbatùa përché costa a va a finì tuta an sël dent. Conossend la velocità ω, ël nùmer dij dent n dla roa e la distansa d as peul antlora calcolé la velocità c dla lus, che a përcor la distansa $2\,d$ ant ël temp $\frac{\pi}{\omega\, n}$.

A son peui stàit dovrà manere pì precise con vàire sistema, dont ël pì spantià adéss ant ij laboratòri për jë student a l'é col ëd Foucault (1850), peui miliorà da Michelson (1878). Cost a l'é 'l metod "*dlë spécc ch'a vira*", che a l'ha 'l vantagi ëd nen ciamé distanse tròp gròsse. D'àutre manere a deuvro strumentassion eletrònica e a son basà an sla misura direta dl'interval ëd temp fra 'l passagi ëd n'impuls ëd lus da doi pont a distansa conossùa. Ste manere a sfruto la risolussion temporal motobin àuta djë strument.

Fotometrìa

I giontoma quàicòs an sle unità 'd misura dla lus, contut che sòn a sia nen part dl'òtica geométrica. Dal moment che, com i l'oma dit, la lus a l'é na radiassion eletromagnética, le misure an sla lus a podrìo esse fàite con ij criteri dla radiometrìa, considerand mach le grandësse fìsiche che a son an geugh. Ma dal moment che la lus, com ël son, a l'é avertìa da l'òm an fonsion dla sensibilità dl'euj, antlora la fotometrìa a definiss d'unità 'd misura che a ten-o cont ëd sòn. Sì sota i doma giusta la definission ëd quat grandësse d'anteresse.

Fluss luminos e Lumen

Ël ***fluss luminos*** ϕ a l'é corelà a la potensa d'emission ëd na sors luminosa. An radiometrìa as podrìa dì che as trata dl'energìa iradià ant l'unità 'd temp da la sors luminosa, e donca

as trata 'd soa potensa, mentre an fotometrìa la misura dla potensa iradià a venta ch'a sia moltiplicà për ël fator ëd visibilità $\bar{y}(\lambda)$, che a l'é na fonsion dla longhëssa d'onda λ, e che a dëscriv la sensibilità dl'euj a le diferente frequense dla lus.

La curva ch'a dà 'l fator ëd visibilità $\bar{y}(\lambda)$ a le vaire frequense a l'é arportà an figura 2, andova as vëdd che la visibilità màssima a l'é, an media, a la longhëssa d'onda ëd *555 nm*, che a corispond a la zona dla lus vërda.

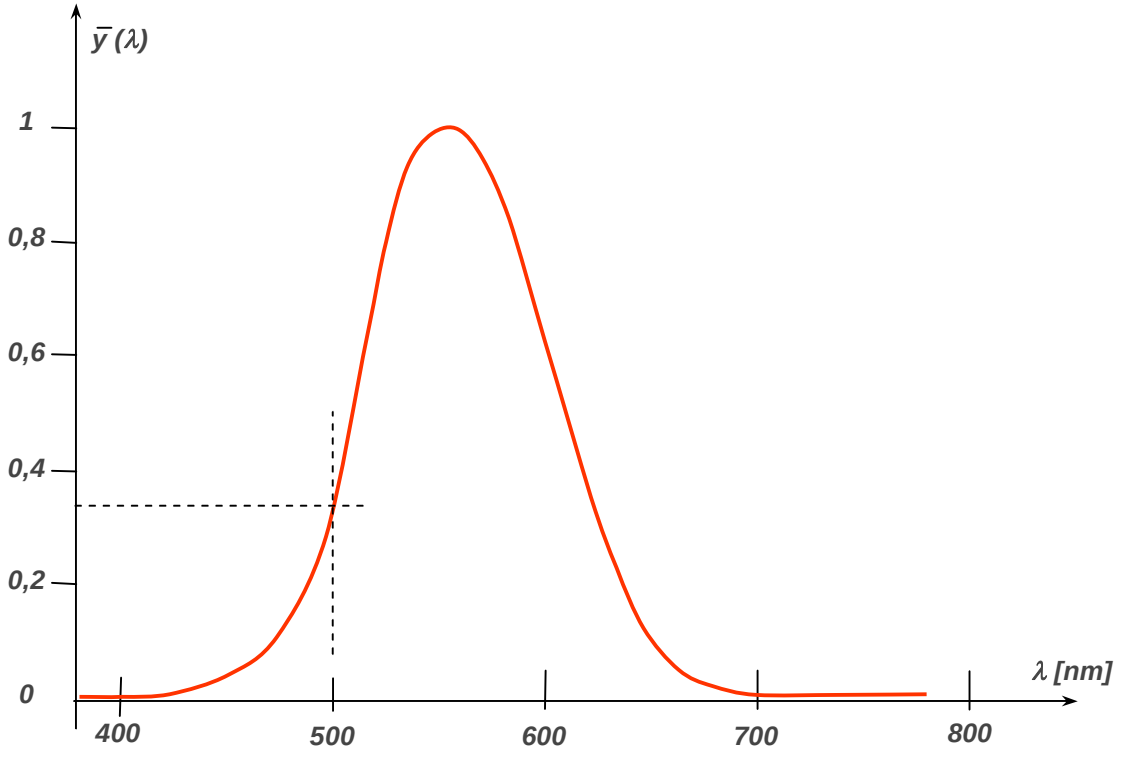

Figura 2 - Curva 'd visibilità

Ël fluss luminos ϕ as misura an "***lumen [lm]***". As definiss ël fluss luminos d'un lumen col prodòt da na sors ëd potensa $w = \frac{1}{683}$ Watt che a emëtta na radiassion luminosa con longhëssa d'onda ëd *555 nm*. Da la figura as vëdd che a la longhëssa d'onda ëd *500 nm* i l'oma un fator ëd visibilità ëd pì ò manch *0,34*. Su sta longhëssa d'onda na sors con l'istessa potensa radiométrica 'd radiassion a emëtt mach *0,34 lumen*. Ël fator *1/683* a ven da l'adatament ëd costa definission a definission ëd prima. Le dimension dël lumen a son sempe an *Watt*.

Intensità luminosa e Candèila

L'***intensità luminosa I*** a l'é definìa coma 'l fluss për unità d'àngol sòlid (steradiant) ant na dàita diression. L'unità 'd misura a l'é la "***candèila [cd]*** ". Na candèila a l'é donca l'intensità luminosa ***I*** dàita da un fluss ϕ d'un lumen ant l'àngol sòlid ω ëd në steradiant. L'intensità a l'é arferìa a na dàita diression, e an costa diression a val donca $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$, con $d\omega$ angol sòlid anfinitésim antorna a sta diression e $d\phi$ fluss luminos an col àngol sòlid.

Dal moment che l'àngol sòlid an steradiant a l'é adimensional, le dimension dla candèila a son ancor sempe an *Watt*.

Anluminament

L' ***anluminament E*** a l'é la quantità 'd lus che a casca an 's na surfassa, dàita për unità 'd surfassa. Donca a l'é 'l fluss luminos dividù për la surfassa considerà. Dal moment che l'anluminament a peul esse diferent da pont a pont, soa definission pì precisa a l'é :

$$E = \frac{d\phi}{d\sigma} \times \vec{n}$$

andova $d\sigma$ a l'é l'element ëd surfassa antorna al pont che i consideroma e $d\phi$ a l'é 'l fluss luminos che a casca su st'element ëd surfassa, mentre $\boldsymbol{n}$ a l'é la normal a l'element.

L'unità 'd misura për l'anluminament a l'é 'l ***Lux*** che a l'ha dimension ëd lumen su meter quadrà $\left[\frac{lm}{m^2}\right]$. Se i pensoma a na sors a pont al senter ëd na sfera ideal, i l'oma che la surfassa dla sfera a chërs con ël quadrà ëd sò ragg. Donca l'anluminament dàit da costa sors a diminuiss con ël quadrà dla distansa. A sarà màssim se la surfassa considerà a l'é normal ai ragg dël fluss.

Luminansa

La ***luminansa L*** a l'é la quantità 'd lus emëttùa da na sors (primària ò scondària) con dimension finìe (donca nen un pont) ant la diression dl'osservator, për unità 'd surfassa dla sors midema, com a l'é vista da l'osservator. La definission a l'é donca:

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos\alpha}$$

andova *dI* a arpresenta ël fluss elementar ant la diression dl'osservator (Intensità) e *dS cos* α a l'é la proiession dla surfassa emitent elementart su un pian normal a la diression da la surfassa a l'osservator. La luminansa as misura an candèile su meter quadrà $\left[\frac{cd}{m^2}\right]$.

Le lèj fondamentaj

I tornoma a l'òtica geométrica e i vardoma ij sò quat prinsìpi 'd base, com a son verificà da l'esperiensa cand le dimension linear dj'ogét che a anterferisso con la lus a son motobin pì gròsse dla longhëssa d'onda dla lus midema. A costi quat prinsìpi i giontroma 'l prinsìpi 'd Fermat e le lej ëd Fresnel. I prinsìpi a son :

- Propagassion për ragg an riga drita ant ij mojen omogeni.
- Lej dla riflession (arbatiment)
- Lej dla rifrassion
- Anvertibilità dij camin òtich.

Propagassion për righe drite

Ël prim pont a l'é pitòst ciàir e a ciamrìa nen na spiegassion. A l'é sens-àutr bin verificà për le esperiense an laboratòri e an tuti ij fenòmeno che a ciamo nen d'interpretassion relativìstiche.

A-i son maccassìa 'd cas andova a càpita che ij ragg luminos ant un mojen coma l'ària a viagio nen an riga drita. Sòn a l'é dàit da la diferensa 'd densità fra seuj d'ària, che a peul capité cand a-i son particolar gradient ëd temperatura. Donca an costi cas a l'é 'l mojen che a l'é pì nen omogéni. An efét sto prinsìpi as arferiss mach a propagassion an tun mojen omogéni. I tornroma su sto discors parland dël prinsìpi 'd Fermat.

Lèj dla riflession (arbatiment)

Cand un ragg ëd lus a ancontra na surfassa ëd dëscontinuità a ven arbatu da costa second doe régole:

- Ël ragg arbatù a stà ant ël pian che a conten ël ragg incident e la normal a la surfassa ch'a arbat ant ël pont d'incidensa. Sto pian a l'é ciamà "*pian d'incidensa* ".
- L'àngol d'incidensa i a l'é l'àngol fàit dal ragg incident e la normal al pont d'incidensa. L'angol d'arbatiment r a l'é l'àngol fàit dal ragg arbatù e la normal al pont d'incidensa. A val sempe la relassion: $i = r$.

La figura 3 a mostra la riflession dij ragg ëd lus

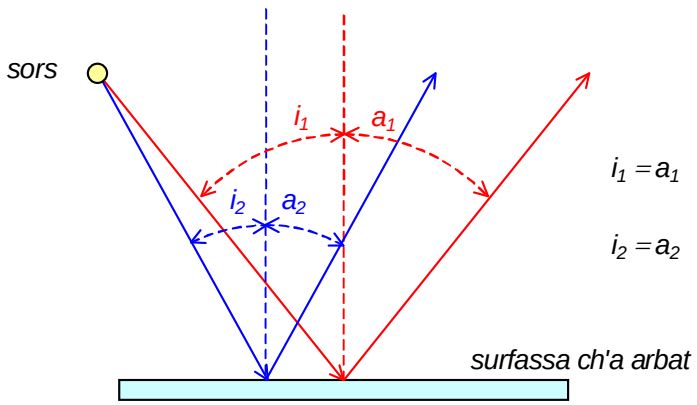

Figura 3 - Arbatiment dij ragg ëd lus

Lèj dla rifrassion (arfrassion)

Com'i l'oma vist për ël son, ël fenòmeno dla rifrassion a l'é dàit da la deviassion dël ragg luminos an passand da un mojen a n'àutr cand l'incidensa an sla surfassa 'd separassion a l'é nen ortogonal. Le régole dla rifrassion a son:

- Ël ragg arfrat a stà ant ël pian d'incidensa, che donca a conten ragg incident, ragg arbatù e ragg arfrat.
- L'àngol d'arfrassion i', misurà fra normal a la surfassa ant ël pont d'incidensa e ragg arfrat, a sodisfa a la lèj dë Snell - Descartes : $\frac{sen\ i}{sen\ i'} = n$ andova n a l'é na costant ch'a dipend dai doi mojen e i a l'é l'angol d'incidensa. Is arferima a figura 4.

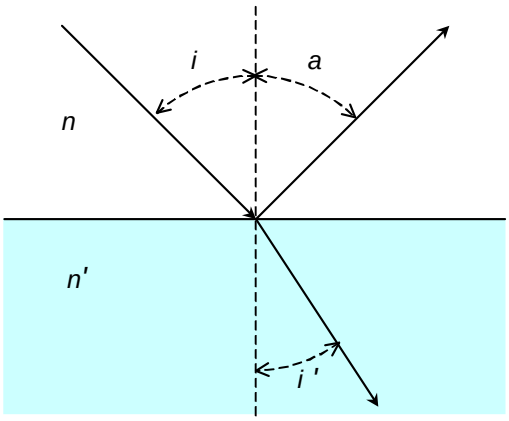

Figura 4 - Arfrassion dla lus

A l'é ciàir che as deuv amëtte che la surfassa 'd separassion a l'àbia un pian tangent ant ël pont d'incidensa, an pì i suponoma për adéss che la lus a sia monocromàtica. J'àngoj as supon-o sempe misurà rispét a la normal a la surfassa ant ël pont d'incidensa.

L'ìndes d'arfrassion

La costant *n* a ven ciamà "***ìndes d'arfrassion*** " dlë scond mojen rispét al prim. St'ìndes a dipend nen mach dai doi mojen, ma 'dcò da la longhëssa d'onda dla lus incidenta (a l'é për sòn che, giusta adéss, i consideroma na lus monocromàtica).

Se 'l prim mojen a l'é 'l veuid, antlora *n* a l'é pijà coma indes d'arfrassion assolut dlë scond mojen. Sòn a veul dì dé al veuid l'ìndes d'arfrassion assolut $n = 1$. An costa manera ògni mojen (ch'a sia almanch un pòch trasparent) a l'é caraterisà da n'ìndes d'arfrassion assolut.

Se i ciamoma n_1 e n_2 j'ìndes d'arfrassion assolut ëd doi mojen a val la relassion:

$$n_1 \cdot sen\ i = n_2 \cdot sen\ i' \quad \text{vis - a - dì} \quad n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{sen\ i}{sen\ i'}$$

che a peul esse verificà da na mira sperimental, ma che i dimostreroma peui, cand i parleroma dël prinsìpi 'd Fermat.

An figura 4 i l'oma mostrà che për un ragg incident a-i son un ragg arbatù e un ragg arfràit. Sòn a l'é sempe vèra se $n < n'$, andova n a l'é l'indes d'arfrassion dël mojen che a conten ël ragg incident e n' col dlë scond mojen.

An sto cas, man man che i a chërs da *0* a *π/2*, ëdcò i' a passa da *0* a n'àngol i_l che as peul trové con la lèj dë Snell e che as dis "*àngol lìmit* " :

$$n' \cdot sen\ i' = n \cdot sen \frac{\pi}{2} = n \quad ; \quad sen\ i' = \frac{n}{n'} = sen\ i_l$$

$$\text{donca} \quad i_l = arcsen\ \frac{n}{n'}$$

Se anvece 'l prim mojen a l'ha n'ìndes pì àut ëd col dlë scond, vis-a-dì $n > n'$, le còse a cambio e is arferima a figura 5.

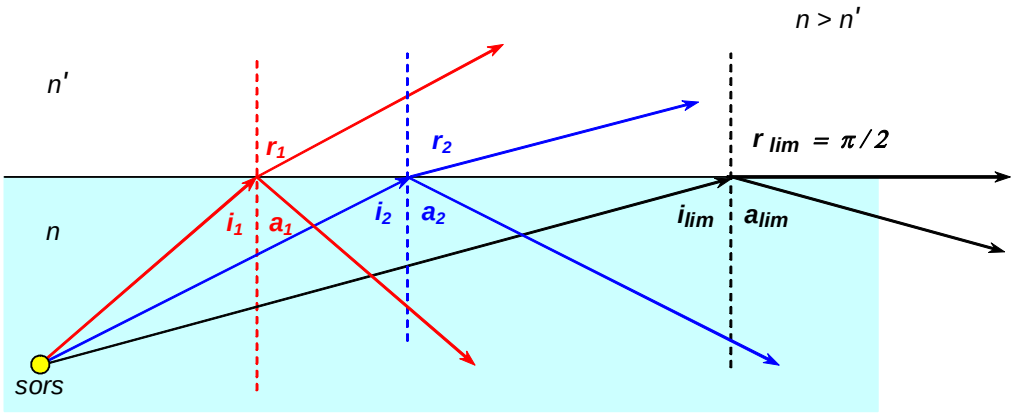

Figura 5 - Àngol lìmit - arbatiment total

Ij color dovrà an figura a l'han gnente da fé con le frequense (la lus che i consideroma ambelessì a l'é sempe monocromàtica)

An sto cas l'àngol d'arfrassion a l'é pì àut dl'àngol d'incidensa, e as riva a n'àngol d'incidensa i_{lim} che a l'ha 'l corispondent ragg arfràit a l'àngol ëd $\pi / 2$. Da sta mira anans a-i é pì nen arfrassion e 'l ragg a ven tut arbatù.

Camin òtich

I l'oma acenà a còs a l'é un ragg ëd lus, e sì i doma na definission un pòch pì precisa. I disoma che la lus as propaga për onde e che i podoma consideré le righe drite përpendicolar a le surfasse d'onda, ant ël sens dla propagassione ciamé coste righe "ragg luninos".

Costa a l'é na definission che a va bin për la propagassion ant un mojen omogéni, coma coj ch'i tratroma anans, ma an general, an particolar se 'l mojen a l'é nen omogéni, 'l ragg a l'é nen na riga drita.

Equassion dël ragg

As peul arcavé na relassion fra la variassion dl'ìndes d'arfrassion e la curvadira dël ragg. Për sòn is arferima a figura 6.

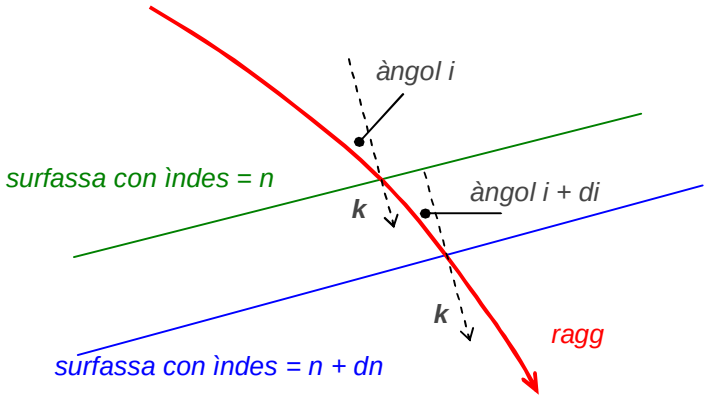

Figura 6 - Relassion fra ìndes d'arfrassion e curvadura dël ragg

I l'oma 'n seul dë spessor anfinitésim dël mojen fra doe surfasse con ìndes d'arfrassion ant l'órdin n e $n + dn$, e un ragg ëd lus che a incid an sla prima surfassa con n'àngol i e an sla sconda

con n'àngol $i + di$. I l'oma vist che $n \; sen \; i = costant$. Se i foma 'l diferensial ëd costa espression i trovoma che

$$\frac{dn}{n} + \frac{d \; sen \, i}{sen \, i} = 0 \quad ; \quad \frac{dn}{n} + \frac{d \, i \cdot cos \, i}{sen \, i} = 0 \quad ; \quad \frac{dn}{n} + \frac{d \, i}{tg \, i} \quad \text{donca} \quad d \, i = -\frac{dn}{n} tg \, i$$

I l'oma vist ant le prime session che la curvadura a l'é dàita da la variassion dël versor $\boldsymbol{\tau}$ dla tangent a la curva dël ragg rispét a l'arch $\boldsymbol{s}$ dël ragg midem. Donca : $\frac{d\vec{\tau}}{ds} = \frac{\vec{\nu}}{\rho}$ andova $\boldsymbol{\nu}$ a l'é 'l versor dla normal prinsipal a la curva e ρ a l'é 'l ragg ëd curvadura. Për cost ùltim a val la definission $\frac{1}{\rho} = \left| \frac{di}{ds} \right|$.

Adéss i consideroma 'l versor $\boldsymbol{k}$ dla normal a le surfasse 'd livél dl'ìndes n, orientà ant ël vers ëd propagassion dla lus, e i verificoma (figura 7) che a val la relassion :

$$\vec{k} = \vec{\tau} \cos i \pm \vec{\nu} \, sen \, i$$

andova 'l segn a dipend dal segn ëd di/ds.

I notoma che $\boldsymbol{\tau}$, $\boldsymbol{\nu}$, $\boldsymbol{k}$ a son sempe complanar, com i l'oma vist cand i l'oma parlà dle lèj dl'arfrassion.

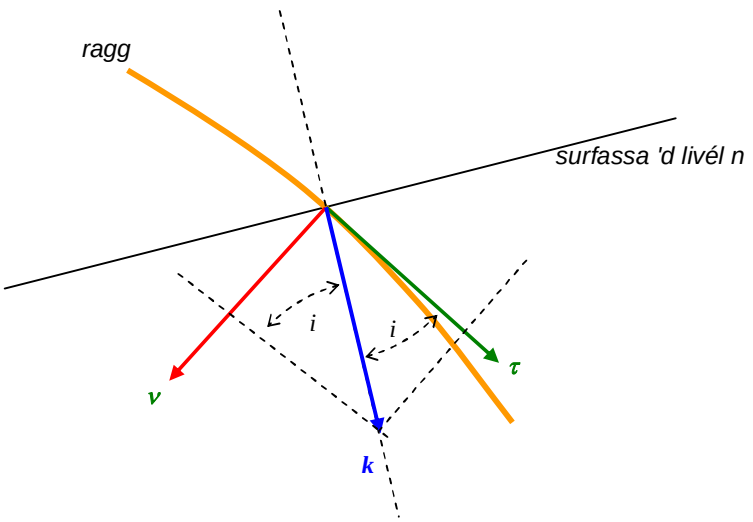

Figura 7 - Component dël versor normal a la surfassa 'd livél n

Da lòn ch'i l'oma scrivù i derivoma che : $\frac{d\vec{\tau}}{ds} = \frac{1}{n \cos i} \cdot \frac{dn}{ds} \left(\vec{k} - \vec{\tau} \cos i \right)$. Antlora i podoma calcolé $\frac{d(n\vec{\tau})}{ds}$ che a dventa :

$$\frac{d(n\vec{\tau})}{ds} = \frac{dn}{ds}\vec{\tau} + n\frac{d\vec{\tau}}{ds} = \frac{dn}{ds}\vec{\tau} + \frac{1}{\cos i} \cdot \frac{dn}{ds}\left(\vec{k} - \vec{\tau}\cos i\right) = \frac{1}{\cos i} \cdot \frac{dn}{ds}\vec{k}$$

Se i pijoma n'arferiment cartesian con l'ass x che a coincid con la diression $\boldsymbol{k}$, l'ùltima espression a val $\frac{dn}{dx}\vec{k}$. Se i arcordoma le definission ëd gradient, da sòn as peul vëdde che :

$$\frac{d\left(n\vec{\tau}\right)}{ds}=\vec{\nabla}n$$

Costa a l'é l'equassion dël ragg, che a peul esse 'ncora svilupà, ma noi is fërmoma sì për nen andé tròp fòra dël nòstr but.

Camin òtich

Parland ëd "camin òtich " is arferima a costi ragg, che com i l'oma vist, a peulo esse arbatù ò arfràit, e parèj a dan orìgin a un përcors che a peul esse intèis coma base d'un "camin òtich", che però, an sens pì general, a l'ha nen mach un significà geométrich.

An efét as ten cont, definend un camin òtich travers doi ò pì mojen diferent, ëdcò dla velocità dla lus an costi mojen. An efét, parland an general për mojen che a peulo esse nen omogeni, se P_0 a l'é na sors a pont ëd lus e P a l'é un pont da 'ndova a passa un ragg ëd lus che a part da P_0, as definiss "***camin òtich*** " l'integral : $\int_\gamma n\left(x,y,z\right)ds$, andova γ a l'é l'arch ëd ragg fra P_0 e P.

Sòn ant ël cas general, mentre che për un mojen omogéni, andova 'l ragg a l'é na riga drita, as dirà "*camin òtich*" la distansa fra ij doi pont moltiplicà për l'ìndes d'arfrassion dël mojen. Se peui ël mojen a l'é 'l veuid, antlora $n=1$ e 'l camin òtich a coincid con la distansa dij doi pont.

Sì i disoma che, da l'òtica ondulatòria (che magara i vëddroma ant n'àutra session) as deduv che l'indes d'arfrassion n d'un mojen qualonque a l'é 'l rapòrt fra la velocità dla lus c ant ël veuid e la velocità dla lus u ant ël mojen midem. Donca $n=\frac{c}{u}$, e antlora i l'oma:

$$\int_\gamma n\,ds=\int_\gamma \frac{c}{u}ds \quad \text{ma i l'oma che} \quad \frac{ds}{u}=dt \quad \text{e donca:}$$

$$\int_\gamma n\,ds=\int_\gamma c\,dt=c\,\Delta t$$

andova Δt a l'é 'l temp che la lus a-i buta për fé l'arch γ. Ël camin òtich a l'é donca la distansa che la lus a farìa ant l'istéss temp se as propaghèisa ant ël veuid. I suponoma che le condission a sio tale da podèj dì che a esist sempe e a l'é ùnich un ragg fra P_0 e P. An sto cas i podoma dì che 'l camin òtich a l'é na fonsion $W(P)$ dël pont P. I l'oma : $W(P)=\int_\gamma n\left(x,y,z\right)ds$

Për adéss a basta parèj, e se a-i na sarà da manca, i tornroma su sto sogét.

Anvertibilità dij camin òtich

I comensoma a consideré 'l prim cas, con ël ragg che a riva dal mojen che a l'ha l'ìndes d'arfrassion pì bass (figura 4). Se i suponoma d'anverte 'l sens ëd propagassion dla lus, ant ël sens che i foma rivé un ragg ëd lus, ant lë scond mojen, precis dzora 'l ragg arfràit (l'istéss ragg an sens contrari), ant ël prim mojen i l'avroma un ragg arfàit che a sarà coincident (gavà 'l sens) con ël ragg incident ëd prima. L'istessa còsa a càpita se invertoma 'l ragg arbatù; an sto cas ël neuv ragg arbatù as treuva al pòst dël ragg incident ëd prima.

Da sti fàit as deduv ël prinsìpi che "***ògni përcors ëd rifrassion ò ëd riflession a l'é andipendent dal vers che la lus a lo përcor*** ".

Se i arpijoma figura 5 i podoma vëdde che se l'ìndes ëd rifrassion dël mojen da andova la lus a riva a l'é pì àut dl'ìndes dël mojen andova la lus a l'é mandà, a na dàita mira as riva a l'àngol

lìmit, e peui a l'arbatiment total. Sòn a càpità 'dcò ant la situassion ëd figura 4 cand as anvert ël camin òtich.

Se i consideroma la lèj dë Snell $n_1 \cdot sen\, i = n_2 \cdot sen\, i'$ e i suponoma che la lus a riva dal mojen con ìndes pì àut a n'àngol superior a l'angol lìmit, i trovoma gnun-e solussion reaj për l'àngol dël ragg arfràit.

Prinsìpi 'd Fermat

An general sto prinsìpi a dis che : " *La trajetòria fàita da l'energìa luminosa ant ël camin fra doi pont pre-fissà a l'é cola ch'a rend mìnim opura màssim ël temp impiegà a féla* ".

I consideroma na trajetòria genérica e 'l temp *dt* che la lus a-i buta a fé un tràit *ds* a la velocità *v*. Se la trajetòria a l'é fra *A* e *B*, a venta donca serché un valor estrém (màssim ò mìnim) dël temp total

$$t = \int_A^B \frac{ds}{v}$$

Sòn a corispond ëdcò a dì che a venta ch'a sia estrém ël camin òtich, parèj com i l'oma definilo prima, vis-a-dì : $c \cdot t = \int_A^B \frac{c}{v} ds = \int_A^B n\, ds$.

As peul sùbit deduve da sto prinsìpi che la lus a viagia an riga drita fra doi pont ant un mojen isòtropo, e che ij ragg a son arbatù da na surfassa arfletenta con n'àngol ugual a col d'incidensa, përchè an sto cas ël camin òtich a l'é 'l pì curt fra tuti coj possìbij. An figura 8 i l'oma arportà 'l cas dl'arfrassion che i-i aplicoma 'l prinsìpi 'd Fermat.

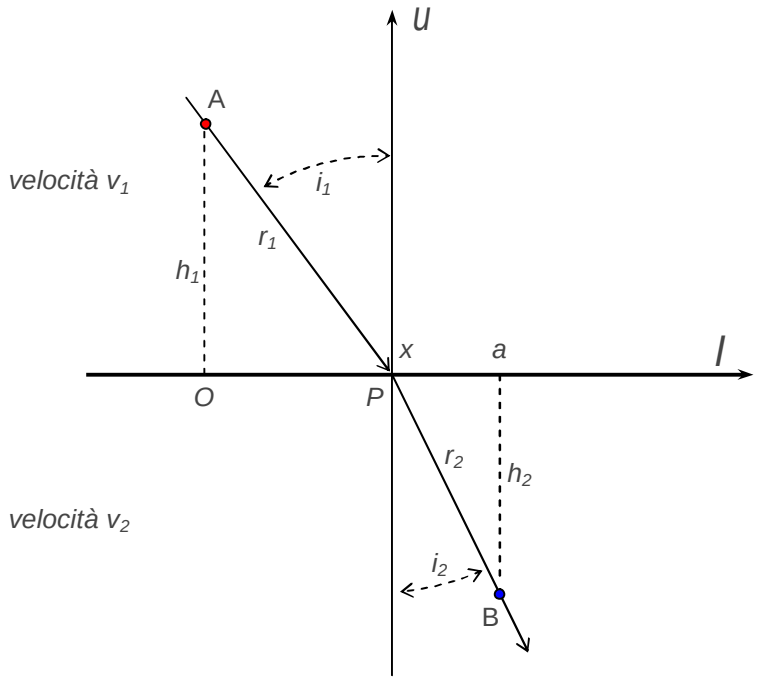

Figura 8 - Aplicassion dël prinsìpi 'd Fermat

I consideroma l'arfrassion ant ël pian che a conten ij ragg incident e arfràit. La lìnia *l* a l'é la lìnia 'd separassion dij doi mojen, e su sta lìnia i butoma l'orìgin *O* ant ël pont andova a casca 'l pé dla normal a *l* tirà giù dal pont *A*, sors dël ragg incident.

Ël pont *P* d'incidensa dël ragg ëd lus a l'ha assissa *x* contà a parte da *O*. Ël temp ëd përcorensa *t* fra *A* e *B* a sarà : $t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2}$ andova r_1, distansa fra *A* e *P*, a val : $r_1 = \sqrt{h_1^2 + x^2}$ e r_2, distansa fra *P* e *B* a val : $r_2 = \sqrt{h_2^2 + (a-x)^2}$, con *a* che a l'é l'assissa dël pé dla përpendicolar a la lìnia l dal pont *B*. I sercoma ij màssim e mìnim për *t* butand a zero soa derivà prima $\frac{dt}{dx}$.

$$\frac{1}{v_1} \cdot \frac{dr_1}{dx} + \frac{1}{v_2} \cdot \frac{dr_2}{dx} = 0$$

$$\frac{1}{v_1} \cdot \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} - \frac{1}{v_2} \cdot \frac{a-x}{\sqrt{h^2 + (a-x)^2}} = 0$$

As peul vëdde sùbit che $\frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} = sen\, i_1$ e che $\frac{a-x}{\sqrt{h^2 + (a-x)^2}} = sen\, i_2$ e che donca a valo le relassion :

$$\frac{sen\, i_1}{v_1} - \frac{sen\, i_2}{v_2} = 0 \quad ; \quad \frac{sen\, i_1}{sen\, i_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

St'ùltima relassion a l'é pròpi la lèj dl'arfrassion. Ël raport $n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2}$ a dipend nen da l'àngol d'incidensa e a l'é l'ìndes d'arfrassion relativ dlë scond mojen rispét al prim. An efét i podoma consideré tre mojen e indiché l'indes d'arfrassion dël mojen *j* rispét al mojen *i* coma $n_{j,i}$, e i l'avroma che : $n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2}$; $n_{3,1} = \frac{v_3}{v_1}$; $n_{3,2} = \frac{v_3}{v_2}$. Da sòn a ven che : $n_{1,2} = \frac{n_{3,2}}{n_{3,1}}$

Se i consideroma che 'l mojen 3 a sia 'l veuid, antlora a val la relassion ch'i l'avìo trovà prima : $n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1}$, rapòrt fra j'ìndes assolut.

Ant l'istéssa manera (mach pì complicà coma forma) as peul apliché sto prinsìpi ant lë spassi a tre dimension, nen mach për l'arfrassion ma 'dcò për l'arbatiment.

Acénn al prinsìpi 'd Huygens e a la régola 'd Malus

I acenoma giusta an manera sempia a sti sogét, che a derivo da la teorìa ondulatòria dla lus, che i vëddroma peui ant n'àutra session dë ste nòte.

I consideroma la fonsion *φ(x, y, z, t)* coma un-a ch'a arpresenta na grandëssa qualonque bon-a a arpresenté la lus ant ël pont *P(x, y, z)* a l'istant *t*. (a podrìa pr'esempi esse na component dël camp eletrich).

I suponoma sempe che la lus a sia mono-cromàtica con na dàita frequensa f . An sto cas, an general, a l'é possìbil scrive la fonsion φ ant la forma : $\varphi = A \cdot cos\, \theta$, andova :

$\theta = \theta\,(x, y, z, t) = 2\,\pi\, f\, t + S(x, y, z, t)$ a l'é la fàse e $A = A(x, y, z)$ a l'é l'ampiëssa dl'onda.

A un dàit istant t la surfassa $\theta = \theta(x, y, z, t) = cost$ a arpresenta tuti ij pont che a l'han l'istessa fase, che as ciama "***surfassa d'onda*** ". An particolar i podoma supon-e che $\theta = cost$ a arpresenta un fron d'onda Σ che riva ant un dàit moment *t*.

Ël prinsìpi 'd Huygens a dis che, dàita la surfassa Σ (vis-a-dì $\theta = cost$ ant un dàit temp *t*), as peul consideré ògni pont ëd costa surfassa coma orìgin ëd n'onda secondària con ampiëssa e fàse sernùe com a conven, ma con fase istessa an tuti ij pont ëd Σ. As peul arcavé l'onda a l'istant $t + dt$ coma anlup ëd tute coste onde secondàrie.

Svilupand sto prinsìpi as arcava che cand le dimension dj'ogét che la lus a 'nconta a son gròs rispét a la longhëssa d'onda λ dla lus, e a l'é tal che 'dcò l'ampëssa $A(x, y, z, t)$ a càmbia pòch për në spostament dl'órdin ëd λ dël pont $P(x, y, z)$, antlora la lus as propaga, an pràtica, second trajetòrie che a son ortogonaj a le surfasse d'onda $\varphi = cost$. Sté trajetòrie a son ciamà "***ragg ël lus*** ". Ant un mojen isòtropo la lus emëttùa da un pont O as propaga con surfasse d'onda sfériche e ij ragg ëd lus a son ij ragg ëd coste sfere.

Dòp un nùmer qualonque d'arbatiment e d'arfrassion ste surfasse a podrìo esse pì nen sfériche, ma a esisto 'ncora trajetòrie normaj a coste surfasse, che ant un mojen isòtropo a formo 'ncora na "*congruensa normal* " a coste surfasse. Costa proprietà a ven sovent ciamà "***régola 'd Malus*** ", che a val andova a valo le lèj dl'òtica geométrica. *Se ij ragg incident an 's na surfassa a formo na congruensa normal a na surfassa d'onda, antlora ij ragg ch'a seurto dòp arbatiment e arfrassion a formo 'ncora na congruensa normal a na surfassa d'onda*.

Arferendse a figura 9 i podoma trové n'àutra giustificassion a la lèj dë Snell second ël prinsìpi 'd Huygens. I consideroma un pian ëd separassion fra doi mojen e i suponoma che le velocità 'd propagassion dla lus an costi a sio, ant l'órdin, v_1 e v_2.

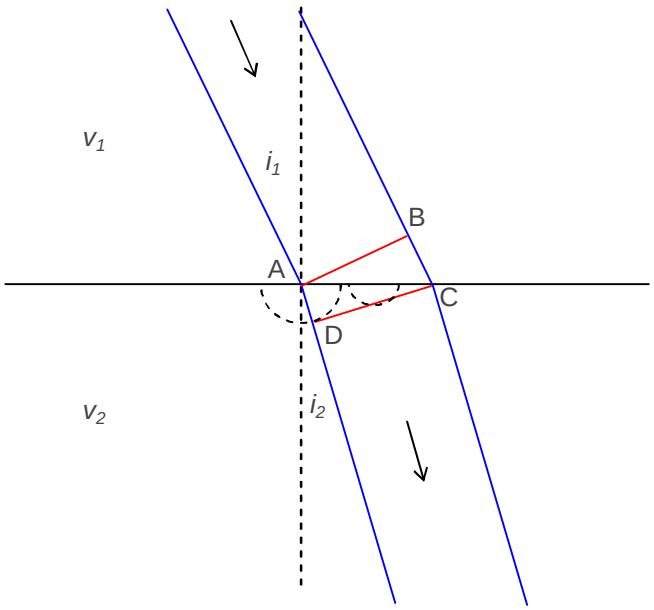

Figura 9 - Arfrassion second ël prinsìpi 'd Huygens

An figura a son mostrà ij ragg paralèj che a incido an sla surfassa e la surfassa d'onda *AB* përpendicolar ai ragg a un dàit istant *t*.

Man man che ij pont ëd costa surfassa d'onda, arpresentà da la lìnia *AB* a rivo a la linìnia 'd separassion AC, i podoma fé parte nòstre onde secondarie. An pràtica i l'oma che 'l front *AB* a riva

su AC an temp sucessiv. Al temp t ël pont A dël front a toca la surfassa 'd separassion, mentre al temp $t + \Delta t = t + \frac{BC}{v_1}$ la vibrassion che a part da B a riva ant ël pont C.

Ant ël temp Δt , antramentre, la vibrassion ant A a l'é propagasse con l'ònda sférica che al temp $t + \Delta t$ a l'ha ragg AD che a val $AD = v_2 \cdot \Delta t$.

Se i consideroma ij doi triàngoj ABC e ADC, i vëddoma che a son retàngoj e che a l'han l'ipotenusa AC an comun. L'àngol an A dël prim a val i1 e l'àngol an C dlë scond a val i2. Da sòn a-i ven che :

$$\frac{BC}{AD} = \frac{AC\ sen\ i_1}{AC\ sen\ i_2} = \frac{sen\ i_1}{sen\ i_2} = \frac{v_1\ \Delta t}{v_2\ \Delta t} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$$

e sto rapòrt a dipend nen da l'àngol d'incidensa, second la lèj dë Snell.

Mojen con ìndes d'arfrassion variàbil

I suponoma adéss che ant ël mojen l'ìndes d'arfrassion a vària second na fonsion contìnua $n(\mathbf{r})$ con la posission. An costa situassion ël prinsìpi 'd Fermat a dis che:

$$\delta \int_A^B n(\vec{r})\, ds = 0$$

andova ds a l'é 'l diferensial dla trajetòria dël ragg fra A e B. I suponoma che la trajetòria a sia arferìa a na trien-a d'ass cartesian, e che a sia dëscrivùa da tre fonsion dla variàbil s (spassi an sla trajetòria) dël tipo $x = x(s)$, $y = y(s)$, $z = z(s)$. Ël calcol dle variassion a dis che an sto cas a venta ch'a sio sodisfàite le tre equassion diferensiaj:

$$\frac{d}{ds}\left(n\,\frac{dx}{ds}\right) = \frac{\partial n}{\partial x} \quad ; \quad \frac{d}{ds}\left(n\,\frac{dy}{ds}\right) = \frac{\partial n}{\partial y} \quad ; \quad \frac{d}{ds}\left(n\,\frac{dz}{ds}\right) = \frac{\partial n}{\partial z}$$

che se i definima 'l vetor $\mathbf{r}(s)$ dont e component a son $x(s)$, $y(s)$, $z(s)$ a dà l'espression:

$$\frac{d}{ds}\left(n\,\frac{d\vec{r}}{ds}\right) = \nabla n$$

andova $\nabla n(\vec{r})$ a l'é 'l gradient dl'ìndes d'arfrassion, che a l'é un vetor con component $\frac{\partial n}{\partial x}; \frac{\partial n}{\partial y}; \frac{\partial n}{\partial z}$ e l'equassion ch'i l'oma trovà a l'é nen d'àutr che l'equassion dël ragg ch'i l'oma vist prima.

Equassion dij ragg parassiaj

Se i suponoma d'esse ant l'aprossimassion parassial, i l'oma che $ds \approx dz$, antlora j'equassion as arduvo a $\frac{d}{dz}\left(n\,\frac{dx}{dz}\right) = \frac{\partial n}{\partial x}$; $\frac{d}{dz}\left(n\,\frac{dy}{dz}\right) = \frac{\partial n}{\partial y}$, e da coste as peulo trové le doe equassion $x = x(z)$ e $y = y(z)$ che a son paramétriche dla trajetòria.

Se i suponoma che l'ìndes d'arfrassion a sia mach variàbil an diression dla coordinà y, vis-a-dì che i l'oma $n = n(y)$, antlora i podoma scrive për ij ragg parassiaj ant ël pian yz :

$\frac{d}{dz}\left(n\frac{dy}{dz}\right)=\frac{dn}{dy}$ e da sì i l'oma l'equassion $\frac{d^2y}{dz^2}=\frac{1}{n}\frac{dn}{dy}$, che, dàite le condission inissiaj, a përmëtt d'arcavé la trajetòria dël ragg.

Equassion Eiconal

Sovens a càpita che le trajetòrie dij ragg a sio caraterisà da surfasse dont lor a son përpendicolar. I suponoma antlora che a-i sia na fonsion dla posission, scalar, ***S(r)***, tala che soe surfasse echilivél ***S(r)*** = *costant*, a sio an tuti ij pont normaj ai ragg.

Se sta fonsion a esist e a l'é conossùa, antlora le trajetòrie dij ragg a son trovà bin fàcil, dal moment che ant na posission r qualonque 'l ragg a l'é ant la diression dër vetor gradient $\nabla S(\vec{r})$. La fonsion ***S(r)*** a l'é ciamà eiconal, e a peul esse paragonà al potensial elétrich, mentre ij ragg a corispondo a le lìnie dël camp elétrich.

Për sodisfé al prinsìpi 'd Fermat, a venta che ***S(r)*** a sodisfa a l'equassion sì sota, che a ven giusta ciamà "***equassion eiconal***":

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2=n^2 \quad \text{che a echiva a scrive} \quad |\nabla S|^2=n^2$$

I arportoma nen la dimostrassion ëd costa afermassion. An figura 10 i arpresentoma la trassa 'd surfasse normaj ai ragg ant ij doi sempi cas ëd ragg paraléj e 'd ragg a simetrìa sférica.

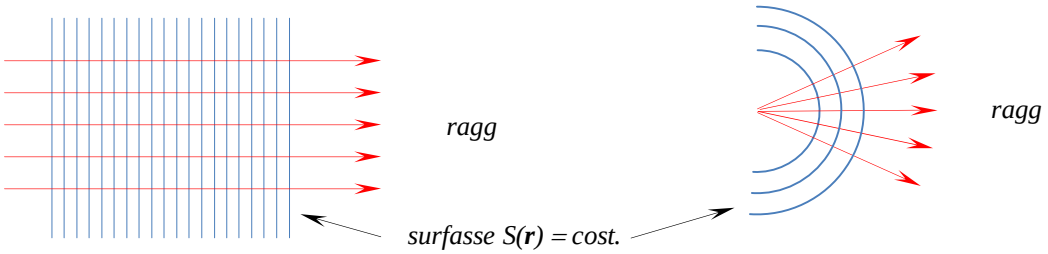

Figura 10 - Surfasse eiconaj e ragg ant un mojen omogéni

Se a son dàit doi pont *A* e *B* arlongh la trajetòria d'un ragg, e se as ìntegra l'equassion eiconal arlong ël ragg fra ij doi pont as treuva che:

$$S(\vec{r}_B)-S(\vec{r}_A)=\int_A^B|\nabla S|\int_A^B n\,ds$$

che a l'é 'l camin òtich fra *A* e *B*.

Ant un mojen omogéni, andova ***n(r)*** a l'é na costant, ëdcò 'l valor ëd $\nabla S(\vec{r})$ a l'é na costant, e donca le normaj a le surfasse eiconaj (surfasse che a corispondo ai front d'onda), a venta ch'a sio 'd righe drite. Ste surfasse ò a son pian-e paralele, ò a son sfériche concentriche.

Se i arpijoma 'l paragon eletrostàtich, i podoma d' che 'l camin òtich fra doi pont a echival a cola ch'a l'é la diferensa 'd potensial elétrich.

Se 'l mojen a l'é nen omogéni, con n'ìndes d'arfrassion ***n(r)***, a venta ò arzolve l'equassion dij ragg, ò arzòlve l'equassion eiconal.

J'ELEMENT ÒTICH

I comensoma a vardé 'l comportament dij component djë strument òtich, component che a àplico le lèj generaj ch'i l'oma vist fin-a sì. An sto capìtol i vardoma ij prisma, che a son element ëd veder (ëd sòlit) con surfasse pian-e che a separo 'l veder da l'ària (ò, macassìa, da l'element estern, che pr'esempi a podrìa 'dcò esse aqua). Peui i vardoma 'l diotr ësférich e jë spécc.

Ij prisma arbatent

An sto cas ël prisma a l'é dovrà për arbate la lus con un-a dle fàce. ël vantagi 'd dovré 'l prisma a sta manera, com as peul vëdde an figura 11, a l'é che l'arbatiment a l'é total, còsa che as peul ne oten-e con në spécc. Për podej dovré 'l prisma parèj a venta che l'àngol d'incidensa dla lus a sùpera l'angol lìmit, an manera che a-i sia nen arfrassion.

Un prisma coma costi a peul esse fàit ëd véder ëd tipo "*Crown*" che a l'ha n'ìndes d'arfrassion a-peu-pré ëd $n = 1{,}5$ che a pòrta a n'àngol lìmit $i_l = 42^o$. Se donca la lus a incid a 45° a-i é l'arbatiment total.

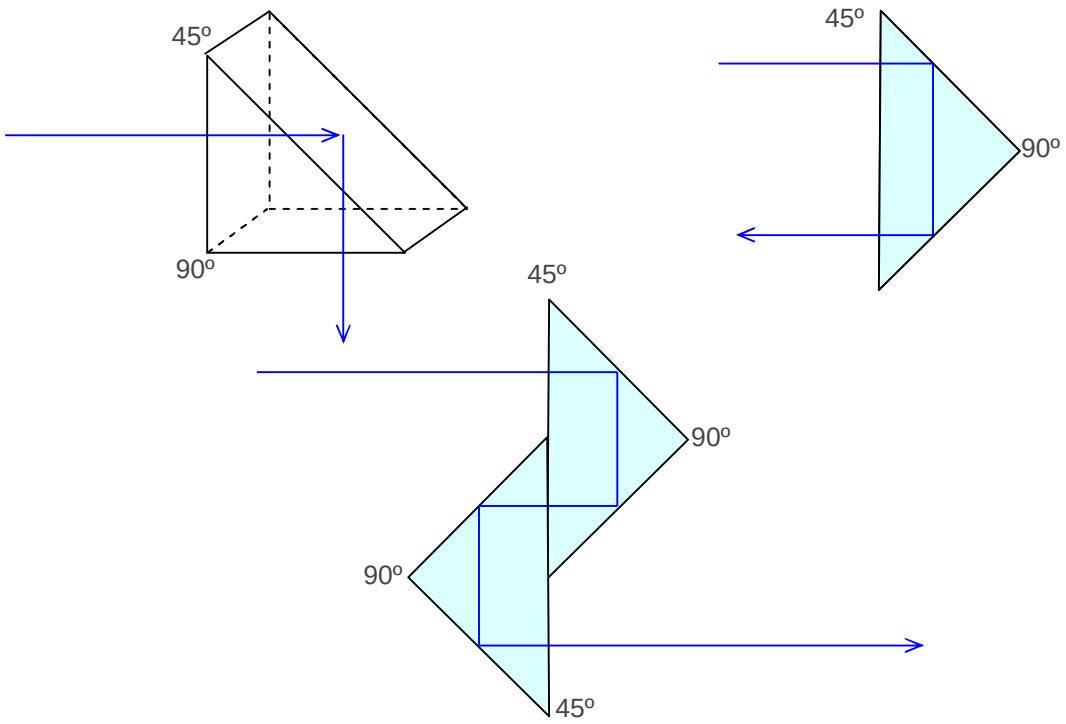

Figura 11 - Prisma dovrà a arbatiment total

An particolar la tersa aplicassion as peu trové ant ij binòcoj, e a slonga 'l camin òtich fra obietiv e ocular, ma sòn i lo vëddroma dòp.

Travers un prisma arbatent, la vision ëd n'ogét a peul esse voltà ò anvertìa. La combinassion ëd pì prisma a peul eliminé sto inconvenient. As peulo realisé prisma particolar con

proprietà particolar. Un prisma particolar a l'é col fàit a triedro, che a l'ha la particolarità d'armandé la lus ant l'istessa diression e vers contrari da 'ndova a riva.

Costa a l'é la proprietà dël catarifrangent, contut che sto sì a sia 'd sòlit fàit con na técnica pì sempia, che i arportoma an figura 12.

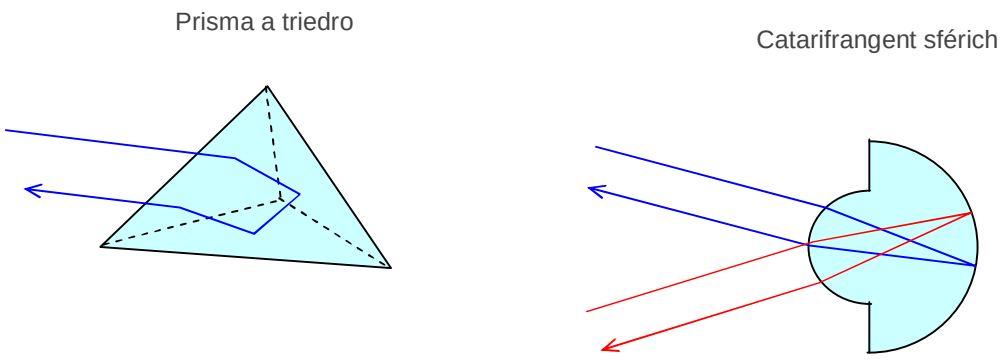

Figura 12 - Catarifrangent

Ant la prima part dla figura a l'é mostrà un prisma a triedro. As dimostra che un ragg ch'a intra da na fàcia (bastamach ch'a intra e che donca a sia nen arbatù total) a ven arbatù da j'àutre doe face an manera che, ansema a l'arfrassion an intrada e seurtìa, a seurt ant 'istéssa diression e vers contrari rispét a com a l'é rivà. L'arbatiment a peul esse 'dcò nen total.

Ant la sconda part a-i é na realisassion dël catarifrangent sférich. Cost a sfruta l'efét ëd na lente e l'arbatiment ëd në spécc sférich, còse che i vëddroma peui.

Ij prisma arfrangent

A son coj ch'a sfruto le lèj dë Snell. Ansema a l'arfrassion a-i é 'dcò sempe n'arbatiment, che a l'é cit e che sì nen sempe i consideroma.

Lastra pian-a

Cost a l'é 'l pì sempi dij prisma e i l'oma n'arpresentassion an figura 13. I consideroma sempe na lus monocromàtica.

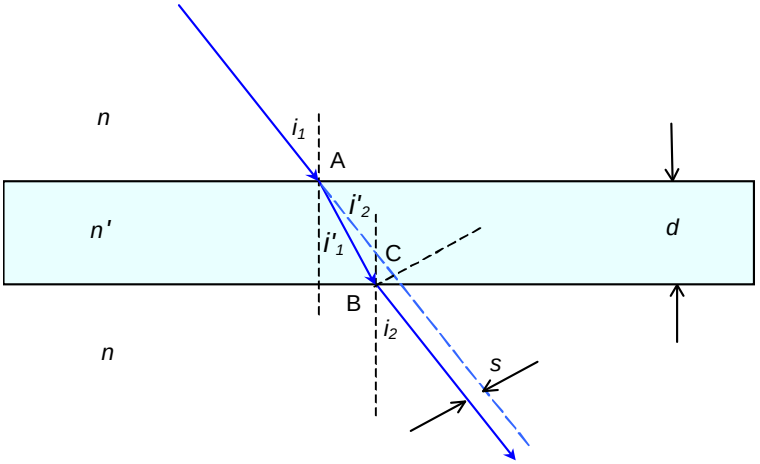

Figura 13 - Arfrassion ant na lastra pian-a

An sto cas ij doi àngoj d'intrada i_1 e 'd seurtìa i_2 a son j'istéss, vis-a-dì $i_1 = i_2$. An efét:

I suponoma che $n' > n$ e i scrivoma la lèj dë Snell për le doe face paralele, tnisend cont che a son paralele fra 'd lor ëdcò le doe normaj a le face, e che donca $i'_1 = i'_2$.

$$n \cdot sen\, i_1 = n' \cdot sen\, i'_1 \quad ; \quad n' \cdot sen\, i'_2 = n \cdot sen\, i_2$$

ma 'dcò $n \cdot sen\, i_1 = n' \cdot sen\, i'_2 \quad ; \quad n' \cdot sen\, i_2 = n \cdot sen\, i_2$

e donca $sen\, i_1 = sen\, i_2 \quad ; \quad i_1 = i_2$

Ël ragg a patiss në spostament s che a dipend da lë spessor d dël prisma, dal raport dj'ìndes d'arfrassion e da l'àugol d'incidensa. An efét lë spostament dël ragg a corispond al cateto BC dël triàngol retàngol ABC an figura. L'àngol an A a l'é dàit da la diferensa fra i_1 e i'_1, mentre la longhëssa dl'ipotenusa AB val $AB = d \cdot tg\, i'_1$.

Prisma a surfasse nen paralele

I consideroma na session dë sto prìsma an figura 14, andova α a l'é l'àngol formà da le doe face che prima i consideravo paralele.

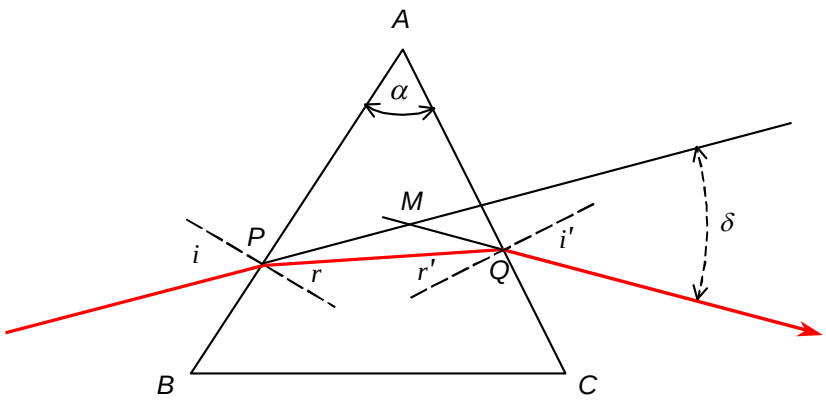

Figura 14 - Prisma (surfasse nen paralele)

Da la figura a arzulta sùbit che l'àngol δ ëd deviassion total del ragg (e che a l'é fonsion dl'àngol i) a val $\delta = f(i) = i + i' - \alpha$, e sòn as arcava vardand ij triangoj PAQ e PMQ.

A peul nen capité, traversand un prisma, che $i = i' = 0$, e as treuva che a esist un valor për l'àngol i che a rend mìnima la deviassion δ. Ambelessì i ciamoma n l'ìndes d'arfrassion relativ dël véder dël prisma rispét a l'ària da fòra. Për la lèj dë Snell, i l'oma :

$$sen\, i = n \cdot sen\, r \quad ; \quad sen\, i' = n \cdot sen\, r'$$

e se i vardoma 'l triàngol APQ i podoma trové che l'àngol an P a val $\frac{\pi}{2} - r$ e col an Q a val $\frac{\pi}{2} - r'$ e donca $\alpha = \pi - \frac{\pi}{2} + r - \frac{\pi}{2} + r' = r + r'$.

Për trové 'l mìnim për δ a venta prima 'd tut che antorna a sto pont ël diferensial ëd δ a sia zero. Donca (condission necessaria ma nen suficenta) a venta avèj $d\delta = 0$.

Dàite le relassion ch'i l'oma vist për δ, për che sòn a sia vèra a venta ch'a sia, prima 'd tut $d\delta = d\,f(i) = di + di' = 0$ e 'dcò $dr + dr' = 0$. Peui i diferensioma le doe arcavà da le lèj dë Snell e i otnoma $\cos i \cdot di = n \cdot \cos r \cdot dr$ e $\cos i' \cdot di = n \cdot \cos r' \cdot dr$

Sensa fé tuti ij passagi, da coste condission as peul arcavé che i l'avroma $\delta_<$ (δ mìnim) cand a l'é $i = i'$ e $r = r'$. A soa vira sòn a pòrta a concludse che $r = \frac{\alpha}{2}$; $i = \frac{\alpha + \delta_<}{2}$. An coste condission ëd mìnim a venta ch'a sia, antlora :

$$n = \frac{sen\, i}{sen\, r} = \frac{sen \frac{\alpha + \delta_<}{2}}{sen \frac{\alpha}{2}}$$

An coste condission, andrinta al prisma 'l ragg a l'é normal a la bisetriss a l'àngol α com arpresentà an figura 15.

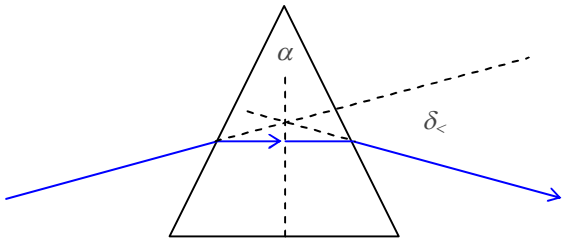

Figura 15 - Condission ëd deviassion mìnima

Se l'àngol α a l'é cit, antlora a sarà cit ëdcò l'àngol mìnim $\delta_<$ e as podrà confonde l'àngol con sò sen. As oten l'espression : $n = \frac{\alpha + \delta_<}{\alpha}$.

Misurand an laboratòri α e $\delta_<$ as peul arcavé l'indes d'arfrassion dël prisma për la lus monocromàtica dovrà.

Lus nen monocromàtica

Se la lus incidenta a l'é nen monocromàtica, ma a l'é fàita coma adission d'onde con frequense diferente, antlora ij ragg emengent da un prisma ò da na lastra pian-a a l'avran na dispërsion, dal moment che a-i sarà un ragg diferent për ògnidun-a dle frequense dla lus.

Se i suponoma un ragg incident ëd lus bianca (coma cola ch'a ven dal sol ò da un còrp foà a àuta temperatura) costa a conten tute le frequense che a son visìbij. La figura 16 a mostra lòn ch'a càpita për na lastra pian-a e për un prisma.

Sòn a dimostra coma l'ìndes d'arfrassion d'un dàit material a dipenda da la frequensa dla lus. Për ij normaj materiaj trasparent i l'oma che st'ìndes a chërs con la frequensa (a cala con la longhëssa d'onda). Sta proprietà a peul esse pì ò manch evident për ij diferent materiaj e a ven ciamà " ***podèj dispërsiv*** " dël material midem.

La lastra a face paralele a l'ha sempe che $i_1 = i_2$ për qualonque frequensa, e donca ij ragg emergent a son sempe paraléj a la diression d'intrada. Lòn ch'a càmbia a l'é lë spostament rispét a la riga drita d'intrada. La lus *rossa* a sarà manch ëspostà mentre cola *violëtta* a sarà pì spostà, com as peul vëdde an figura.

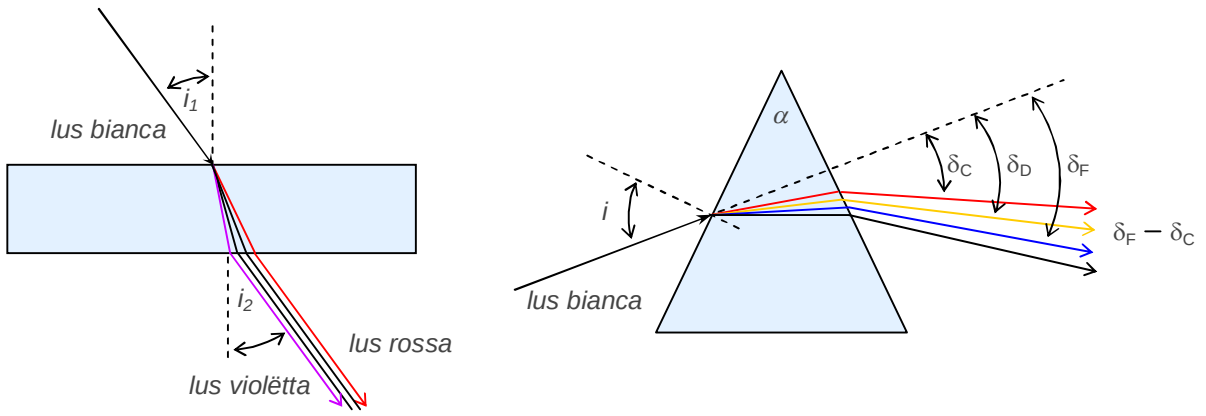

Figura 16 - Dispërsion dij ragg nen monocromàtich

Për ël prisma i podoma scrive torna l'equassion dl'àngol ëd deviassion che i l'avìo scrivù për na lus monocromàtica ($n = cost$) e che sì a dventa :

$$\delta_\lambda = \varphi(i, n) = i + i'_\lambda - \alpha$$

andova l'ìndes λ a ìndica la dipendensa da la longhëssa d'onda.

L'ìndes d'arfrassion n a dipend donca nen mach da la sostansa dël véder ma 'dcò da la longhëssa d'onda dla lus. An figura 17 i arportoma la fonsion $n = \varphi(\lambda)$ për un véder Crown e për un veder ëd quars.

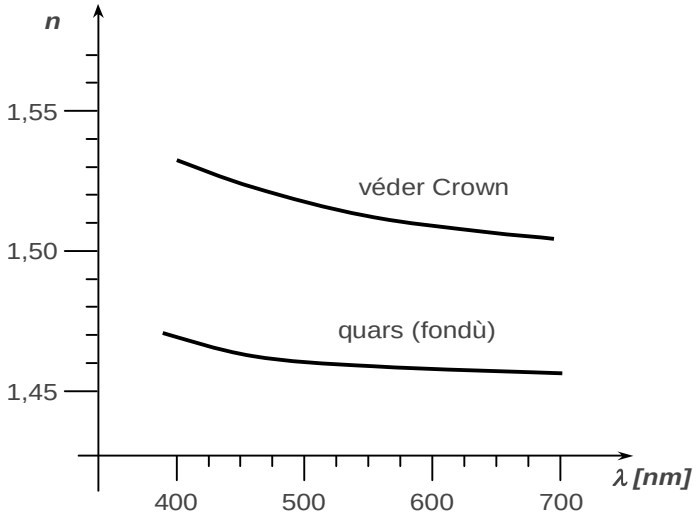

Figura 17 - Indes d'arfrassion an fonsion dla longhëssa d'onda

La lus policromàtica, donca a patiss na dispërsion cand a passa da un mojen a n'àutr, e l'àngol fàit da doi ragg ëd longhëssa d'onda diferenta as ës-ciama "*angol ëd dispërsion*" relativ a le doe longhësse d'onda.

Për caraterisé 'l podèj dispërsiv d'un material as pijo com arferiment tre longhësse d'onda sernùean manera arbitrària va vira për sempe. Coste a son $\lambda_F = 486{,}1\ nm$ (ant la zòna dël bleu) ; peui as pija $\lambda_D = 589{,}3\ nm$ (ant la zòna dël giàun) ; an fin $\lambda_C = 656{,}3\ nm$ (ant la zòna dël ross). A coste longhësse d'onda a corispondo ij tre ìndes d'arfrassion n_F , n_D , n_C . As pija coma podèj dispërsiv ω an manera convensional:

$$\omega = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

Arferendse 'ncora a figura 15 as peul supon-e che cand l'àngol a a l'é cit, tuti ij ragg a peulo esse ant le condission ëd deviassion mìnima e donca, për le tre longhësse d'onda λ_F , λ_D , λ_C :

$$\delta_{F<} = (n_F - 1)\alpha \quad ; \quad \delta_{D<} = (n_D - 1)\alpha \quad ; \quad \delta_{C<} = (n_C - 1)\alpha$$

As pija l'àngol $\delta_{D<}$ coma deviassion média dlë spettr, e l'àngol ëd dispërsion $\delta_{F<} - \delta_{C<}$ a sarà : $\delta_{F<} - \delta_{C<} = (n_F - 1)\alpha - (n_C - 1)\alpha = (n_F - n_C)\alpha$

As peul scrive : $\frac{\delta_{F<} - \delta_{C<}}{\delta_{D<}} = \frac{(n_F - n_C)}{(n_D - 1)} = \omega$. Për avèj n'idèja dla dispërsion che as oten con un prisma sòlit da spettoscòpi, dosoma che as riva a 'ntorna a 3º.

Se l'àngol ëd dispërsion $\delta_{F<} - \delta_{C<}$ ëd n'aparéchio òtich a l'é diferent da zero, antlora l'aparéchio as dis " ***cromàtich*** ". Se l'àngol ëd dispërsion a val zero (com pr'esempi për na lastra pian-a) antlora antlora l'aparéchio a l'é "***acromàtich*** ".

Combinassion ëd prisma

As peul sfruté ij diferend ìndes d'arfrassion e podèj dispërsiv ëd diferent tipo 'd véder për oten-e diferente situassion . La pì avosà a l'é fòrse la realisassion dël " prisma a vision direta " d'Amici, che a pòrta a avèj n'àngol medi 'd deviassion δ_D che a val zero, mentre la diferensa 'd deviassion (dispërsion) $\Delta\delta$ a l'é diferenta da zero e a përmëtt la realisassion ëd në spetroscòpi (che i vëddroma peui). Costa combinassion a l'é arportà an figura 18.

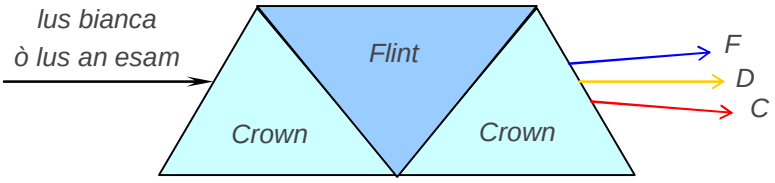

Figura 18 - Combinassion ëd prisma

Cost a l'é un sistema "cromàtich", ma as peulo oten-e, con d'àutre combinassion, sistema "acromatich" con n'àngol medi 'd deviassion δ_D che a val pì che zero mentre la dispërsion $\Delta\delta$ a val zero. Vis-a-dì 'l contrari 'd lòn ch'a fà 'l prisma d'Amici.

Spetroscòpi a prisma

Coma base a-i son doi tipo dë spetroscòpi : 1) - a prisma ò 2) - a retìcol ëd difrassion. Lë scond tipo a l'é da traté ant l'òtica fìsica e i lo vëddroma cand i faroma col sogét. Lë spetroscòpi a prisma, contut ch'a sia në strument pitòst véj, a l'é col ch'i vëddoma ambelessì.

Coma base lë strument a serv a analisé lë spettr dle frequense che a compon-o na lus. Sòn a serv për vàire tipo d'anàlisi, e fra coste l'emission ëd lus da part d'àtom a àuta temperatura. A peul esse 'dcò dovrà për vëdde quale ch'a son le frequense assurbìe da sostanse trasparente. A-i son doe manere 'd realisélo, dont la prima a l'é con prisma ch'a vira su scala gradoà micrométrica e la sconda con scala proietà ansima a lë spetr.

I arportoma an figura 19 lë schema 'd fonsionament dij doi tipo e i doma ampressa na cita dëscrission. I comensoma a vëdde, ant la prima part dla figura, në spetroscòpi fàit da tre part

prinsipaj: 1) - Un "*colimator*" *K* che a pòrta na filura *f* regolabil an larghëssa che as treuva ant ël feu dla lente l_1. Un prisma *P* dont ël senter dle face a àngol α a l'é an 's l'ass òtich dël sistema, e le face a son bin verticaj se l'ass a l'é orisontal, e con l'àngol fra normal a la facia e ass òtich dël colimator che a corispond a la situassion ëd deviassion $\delta_{D<}$. Ël prisma a l'é montà as 's na base *b* che a peul viré su sò ass, comandà da un sistema micrométrich *m* con scala che a peul esse gradoà an longhëssa d'onda ò an manera direta ò travers na tabela 'd taradura. 3) - Un canucial d'osservassion *C* che a l'ha le lente l_2 e l_3 e che a conten un traguard ëd pontament *t*. L'ass òtich a l'é orientà e posissionà an manera d'arsèive la lus arfràita dal prisma.

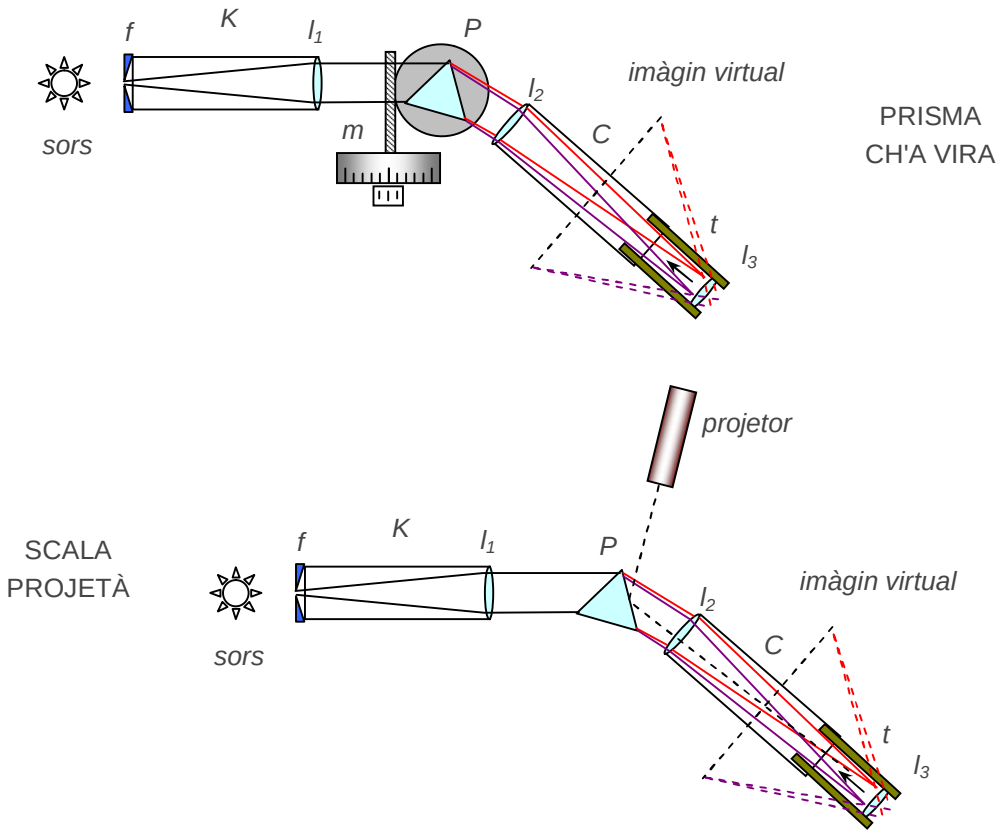

Figura 19 - Spetroscòpi a prisma

La sors a anlùmina la filura e la lente 1 a manda ij ragg paraléj an sël prisma P. Sto prisma a manda anans ij ragg arfràit al canucial, con ij diferent color a àngoj diferent. la lente 2 a forma n'imàgin real e la lente 3 a fà vëdde l'imagin virtual angrandìa. Al senter dl'imàgin as vëdd ël traguard ëd pontament coma na riga drita vertical. Fasend viré 'l prisma (pòchi gré an tut) as pòrto le righe dij diferent color an sël traguard ëd pontament. Da l'indicassion dël misurator *m* e da le tàule 'd taradura as arcava la longhëssa d'onda dla particolar lus. A fà nen da manca che tuta la scala dij color as vëdda ansema, dal moment che a basta na cita part che as fà score virand ël prisma

Lë spetroscòpi a projetor a l'é fàit a l'istéssa manera, ma a l'ha ël prisma fiss. Ant ël camp visual dël canucial as vëdd tuta la scala dij color. Na scala gradoà a l'é projetà dal projetor an sla facia dël prisma dont a sfruta l'arbatiment total ant ël canucial. La scala a ven donca giontà a la figura dle righe 'd lus, e a venta ch'a sia tarà an 's na tàula 'd taradura.

Usagi dlë spetroscòpi

Giusta ampressa i disoma quaicòs sensa vorèj intré ant ël càmp dla spetroscopìa. A-i son doi tipo 'd misure che as fan con sto strument.

Ël prim tipo a l'é an pràtica col ch'i l'oma ilustrà parland dlë spetroscòpi. I l'oma vist che la lus dël sol a l'ha ne spetr contìnuo dal ross al violet. An general, cand l'àtom ëd na sostansa a l'é ecità da na sors d'energìa, ant le transission che a lò arpòrto a lë stat d'arpòs a emëtt lus che a dipend da soa strutura atòmica e donca sta lus a l'ha në spétr che a l'é caraterìstich dla sostansa idema (element). Se la sors dla lus esaminà a l'é generà parèj, lë spetroscòpi a dventa un potent mojen d'anàlisi. Anvece che në spetr contìnuo as treuva në spetr a righe, che a peulo esse 'dcò pòche.

Për estension, e con d'àutri strument, la spetroscoìa a l'é stàita estèisa a la radiassion nen visìbil, a quaté tut ël camp dle radiassion eletro-magnetiche.

A l'é 'dcò squertasse che le stesse radiassion che l'àtom ecità a emëtt a peulo esse assurbìe da l'àtom midem ant la transission da arpòs a ecità. Sòn a veul dì che se la sostansa a l'é trasparenta (pr'esempi un gas) se as jë fà passé lus bianca travers e as analìsa la lus che a seurt, an slé spétr contìnuo dla lus a comparìsso righe nèire an corispondensa dle frequense che a son stàite assurbìe.

Ël prim tipo dë spetroscopìa a ven dit "***Spetroscopìa d'emission*** " mentre le scond a ven dit "***Spetroscopìa d'assurbiment*** ".

Ël diòtr ësférich

I ciamoma "diòtr " un sistema òtich fàit da doi mojen omogéni e trasparent, separà da na surfassache a arfrangg la lus second la lèj dë Snell. A son amportant, prima 'd tut, ij diòtr ësférich e coj pian. Për ij diòtr pian i l'oma dit a basta (për adéss) a propòsit dij prisma a face paralele (lastre). Sì i vardoma ij diòtr ësférich. I comensoma a arferìsse a figura 20.

I l'oma n'ogét a pont P e i consideroma ij ragg che a seurto da P e che a formo con l'ass PC, che a passa për ël senter dël diòtr, d'àngoj u cit a basta da podèj buté che $sen\ u = u$. Sòn a veul dì che as peulo consideré istesse le doe longhësse PB e PM. I suponoma 'dcò che l'àngol a a sia cit e che donca as peussa trascuré la longhëssa OM. An costa aprossimassion i podoma scrive l'ugualiansa dij segment $PB = p = OP$, dal moment che i consideroma cit ëdcò l'àngol u'.

Adéss i indicoma con P' ël pont ëd crosiera fra l'ass x (ass òtich) e 'l ragg arfràit BP' e peui i ciamoma p' la distansa $P'O$. Ëdcò sì a val l'aprossimassion $P'B = p' = OP'$.

Ij pont P e P' a son pont coniugà 'd na corispondensa 'd rete an doi spassi, l'un a drita e l'àutr a snistra dla surfassa sférica. Lë spassi a snistra a l'é ciamà "***spassi ogét*** " e col a drita "***spassi imàgin*** ". I arferima sti doi spassi a doe cobie d'ass x , y për le spàssi ogét e x' , y' për lë spassi imàgin. Sti doi spassi a l'han l'istessa orìgin O e ass con vers contrari, com as vëdd an figura. Për convension is butoma ant la situassion che la lus a riva da snistra. Antlora i l'avroma che $p = OP$ a l'é positiv e an sens contrari a la propagassion dla lus, mentre $p' = OP'$ a sarà sempe positiv e ant ël vers dla propagassion dla lus.

Second la lèj dë Snell a venta ch'a sia : $n\ sen\ i = n'\ sen\ i'$, e se i vardoma 'l triàngoj PBC i podoma noté che l'àngol PAB e l'angol i a son suplementar e a l'han l'istéss sen, che i l'oma suponù che 'l lat PB, opòst a l'àngol α , a peussa consideresse ugual a p e che 'l teorema dij sen a dis che : $\frac{sen\ i}{p+R} = \frac{sen\ \alpha}{p}$ e che donca $\frac{sen\ i}{sen\ \alpha} = \frac{p+R}{p}$. Vardand peui ël triangol P'BC e con considerassion

dl'istéss tipo i podoma 'dcò conclude che $\frac{sen\, i'}{sen\, \alpha} = \frac{p' - R}{p'}$. Antlora i l'avroma che $sen\, i = \frac{p + R}{p}\, sen\, \alpha$ e che $sen\, i' = \frac{p' - R}{p'}\, sen\, \alpha$.

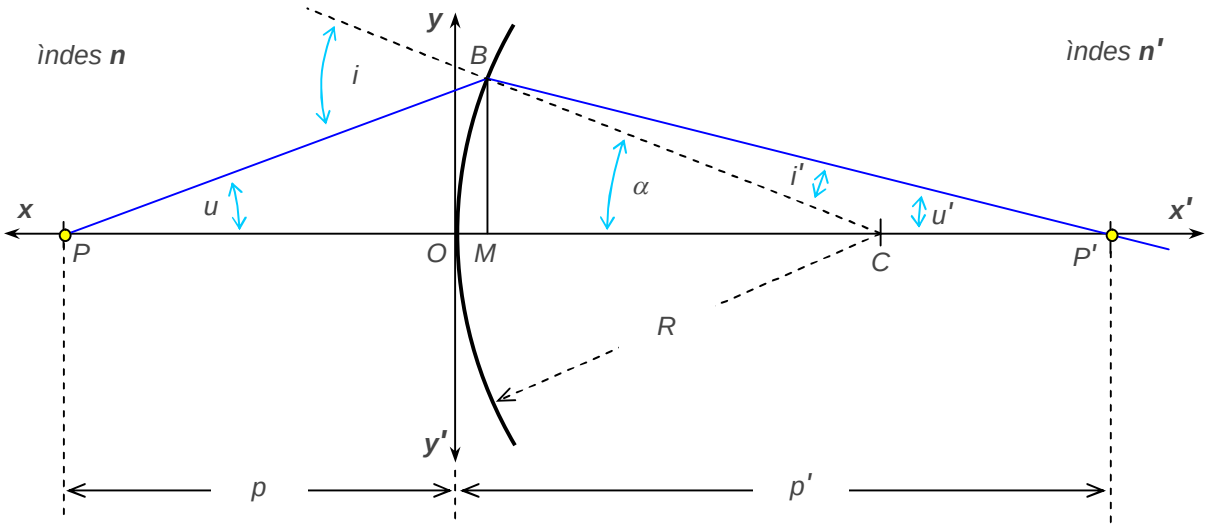

Figura 20 - Diòtr ësférich

I sostituima sti doi arzultà ant la lèj dë Snell e i otnoma $n\left(1 + \frac{R}{p}\right) = n'\left(1 - \frac{R}{p'}\right)$ e donca $\frac{n}{p} + \frac{n'}{p'} = \frac{n' - n}{R}$. Costa a l'é l'equassion dij pont coniugà dël diòtr ësférich. Na vira stabilì *p* as treuva 'l valor ëd *p'*, e sòn a dipend nen dal valor dl'àngol *u* bastamach che cost a sia cit, com ant le ipòtesi ch'i l'oma fàit (as dis che as trata ël ragg *para-assiaj*).

Con costa limitassion, donca, a un fass ëd ragg che a seurto dal pont *P* ant lë spassi ogét, a corispond, ant lë spassi imagin, un fass ëd ragg che a convergio ant ël pont *P'*. As dis che 'l pont *P'* a l'é l'imàgin "***stigmàtica*** " dël pont *P*.

Se adéss i foma tende *p* a l'anfinì, ël valor ëd *p'* a tent al valor *f '* dàit da la relassion: $\frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$. Antlora *P'* a tend al pont *F'*, com as vëdd an figura 21, che a ven ciamà "***Scond feu dël diòtr*** ". I podoma 'dcò fé tende p' a l'anfinì, e antlora ël valor ëd *p* a tent al un valor *f* dàit da la relassion: $\frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R}$. Ëdcò sì *P* a tend al pont *F*, com as vëdd sempe an figura 21, che a ven ciamà "***Prim feu dël diòtr*** ", mentre *f* e *f '* as diso prima e sconda distansa focal dël diòtr.

Da lòn ch'i l'oma dit as deduv che $\frac{f}{f'} = \frac{n}{n'}$ e che $\frac{f}{p} + \frac{f'}{p'} = 1$. Cost'ùltima a l'é na forma general dl'equassion dij pont coniugà che a val për qualonque sustema òtich e che a ven 'dcò dita "***fòrmula 'd Huygens*** ".

Se i misuroma le distanse *x* a parte dai feu e i tnima cont dla convension dij segn ch'i l'oma fàit, antlora i l'avroma :

$$p = x + f \quad ; \quad p' = x' + f'$$

e sostituend ant la fòrmula 'd Huygens as oten : $x \cdot x' = f \cdot f'$ che a l'é la "***fòrmula 'd Newton*** ".

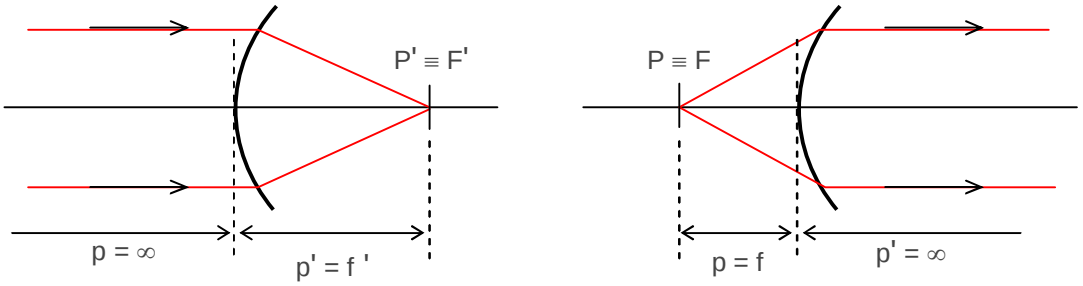

Figura 21 - Distanse a l'anfinì

I ciamoma "*ass òtich*" l'ass ch'a passa për ël cò *O* e 'l senter *C* dla surfassa dël diòtr. Ij pont F e F' an sl'ass òtich a son, ant l'órdin, ël "*feu ogét* " e 'l "*feu imagin* " dël diòtr, ij pian normaj a l'ass òtich che a passo për sti feu a son ël "*pian focal ogét* " e 'l "*pian focal imàgin* ".

Formassion dl'imàgin

Ël but d'un diòtr a l'é, 'd sòlit, col ëd formé l'imagin ëd nogét, vis-a-dì ëd tuti ij pont dl'ogét. Is arferima a figura 22, andova l'ogét a lée arpresentà da la flecia PQ an manera convensional. L'ogét a l'é 'd grandëssa finìa e a stà an 's un pian normal a l'ass òtich.

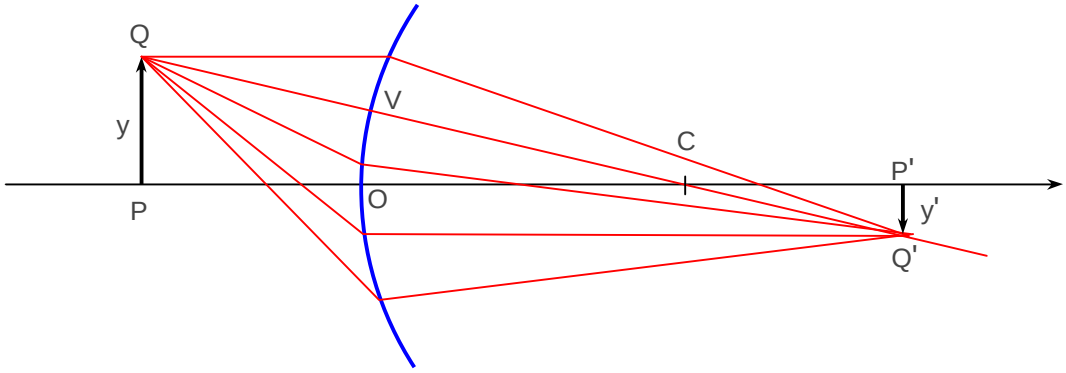

Figura 22 - Formassion dl'imàgin da part d'un diòtr

I l'oma vist prima che ij ragg para-assiaj che a parto da *P* a fan n'imagin an *P'*. Ij ragg che a parto da *Q* a saran fàit converge dal diòtr ant ël pont *Q'*, che a sarà l'imàgin ëd *Q*.

Se i vardoma 'l ragg *QVQ'* che a passa për ël senter dël diòtr, la distansa *QV* a l'é pì gròssa dla distansa *PO*, e sòn a dis che la distansa *VQ'* a l'é pì cita dla distansa *P'O*, com as peul vrtifiché da lòn ch'i l'oma dit prima. Sòn a veul dì che che l'imàgin P'Q' dl'ogét PO as forma nen an s'un pian normal a l'ass òtich, ma an 's na surfassa a conca vers ël pont O. Costa a l'é la ***curvadura dël camp***.

Tutun, se j'ogét a son nen tròp largh (tuti ij pont bastansa davzin a l'ass) e la duvertura dij ragg a l'é nen tròp gròssa, i soma sempe ant l'aprossimassion ch'i l'avìo fàit prima, e i podoma consideré che l'imagin a staga 'ncora su 'n pian normal a l'ass òtich, e le distanse fra pian ogét e pian imàgin a son ancora ant le relassion ch'i l'oma vist prima.

Ant ij sistema òtich che i vëddroma i pijoma për bon-a st'aprossimassion, che as dis "***aprossimassion ëd Gauss*** ".

Ël rapòrt $G_t = \frac{y'}{y}$ a ven ciamà "***Angrandiment linear trasversal*** ". I vardoma antlora ij triàngoj PQC e $P'Q'C$ dla figura. Sti doi triàngoj a son sìmij përché a son retangoj e a l'han l'àngol an C istéss (opòst al cò), donca ij lat a son proporsionaj, e i podoma scrive :

$$\frac{y'}{y} = \frac{CP'}{PC} = \frac{p' - R}{p + R}$$

Peui i vardoma ij triàngoj CBP' e CPB dla figura 19. Da costi a arzulta, për ël teorema dij *sen*, che i l'oma :

$$p' - R = R\frac{sen\ i'}{sen\ u'} \quad ; \quad p + R = R\frac{sen\ i}{sen\ u}$$

I andoma a sostituì coste espression ant la relassion trovà prima e i otnoma :

$$G_t = \frac{y'}{y} = \frac{sen\ i' \cdot sen\ u}{sen\ i \cdot sen\ u'}$$

ma për la lèj dë Snell i l'oma che $\frac{sen\ i'}{sen\ i} = \frac{n'}{n}$ e donca l'ingrandiment G_t a sarà :

$$G_t = \frac{y'}{y} = \frac{n \cdot sen\ u}{n' \cdot sen\ i'} \quad \text{vis - a - dì} \quad n \cdot y \cdot sen\ u = n' \cdot y' \cdot sen\ u'$$

Costa relassion a l'é conossùa coma la " ***lèj dij sen ëd Abbe*** ". Se i consideroma l'aprossimassion ëd Gauss i podoma scrive :

$$n\ y\ u = n'\ y'\ u'$$

Jë spécc

Costa a l'é n'estension imedià 'd lòn ch'i l'oma dit a propòsit dël diòtr. A son d'anteresse, ambelessì, jë spécc paraboloidaj, jë spécc elìtich jë spécc sférich e jë spécc pian.

Jë spécc paraboloidaj

I consideroma jë spécc paraboloidaj angav, dont la surfassa a l'é generà da la rotassion ëd na paràbola antorna a sò ass. I osservoma che costi spécc a l'han la proprietà ëd fé converge ant ël feu tuti ij ragg che a arsèivo e che a sio paraléj a l'ass, a qualonque distansa da l'ass a sio.

An efét i podoma consideré na paràbola con ass vertical e 'l cò ant l'orìgin, che a l'avrà equassion general $y = a\ x^2$. Ant ògni sò pont soa derivà a val $y' = 2a\ x$, che a corispond al coeficent angolar dla reta tangent an col pont. Ant l'istéss pont la normal l'avrà coeficent angolar $-1 / 2ax$.

Se i consideroma un ragg vertical che a incid an slë spécc al pont x, cost a farà, con la normal a la paràbola, un àngol θ dàit da $\theta = \arctan\left(-\frac{1}{2ax}\right) - \frac{\pi}{2}$. Ël ragg arbatù a l'avrà n'àngol θ rispét a la normal a la paràbola, e donca n'àngol φ rispét a j'ass che a val :

$$\varphi = \arctan\left(-\frac{1}{2ax}\right) + \theta = 2\arctan\left(-\frac{1}{2ax}\right) - \frac{\pi}{2}$$

La reta genérica che a passa për un dàit pont $P(x_0, y_0)$ con costa inclinassion a l'avrà equassion $y = \tan\varphi(x - x_0) + y_0$ se le cobie x_0 , y_0 a son ij pont dla paràbola, antlora coste a son j'equassion dij ragg arbatù. Butand su sti ragg $x = 0$, as treuva 'l pont d'intersession con l'ass y. As peul dimostré che costa intersession a dipend nen dal pont d'incidensa dla paràbola e che a l'é 'l feu da paràbola midema.

I ragg paraléj a l'ass a son mandà ant ël feu, sensa da manca 'd fé l'aprossimassion ëd ragg davzin a l'ass. I foma n'esempi an figura 23.

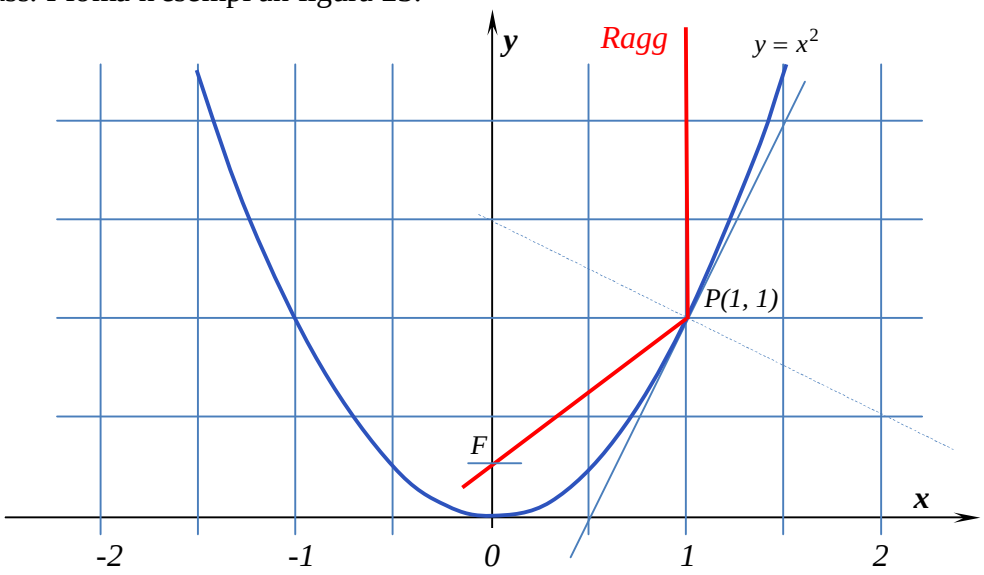

Figura 23 - Spécc paraboloidal

Jë spécc elissoidaj

La particolarità 'd costi spécc a l'é che un ragg che a part da un feu a passa për l'àutr feu. Donca ògni feu a forma l'imàgin ëd l'àutr. I mostroma giusta sto fàit an figura 24.

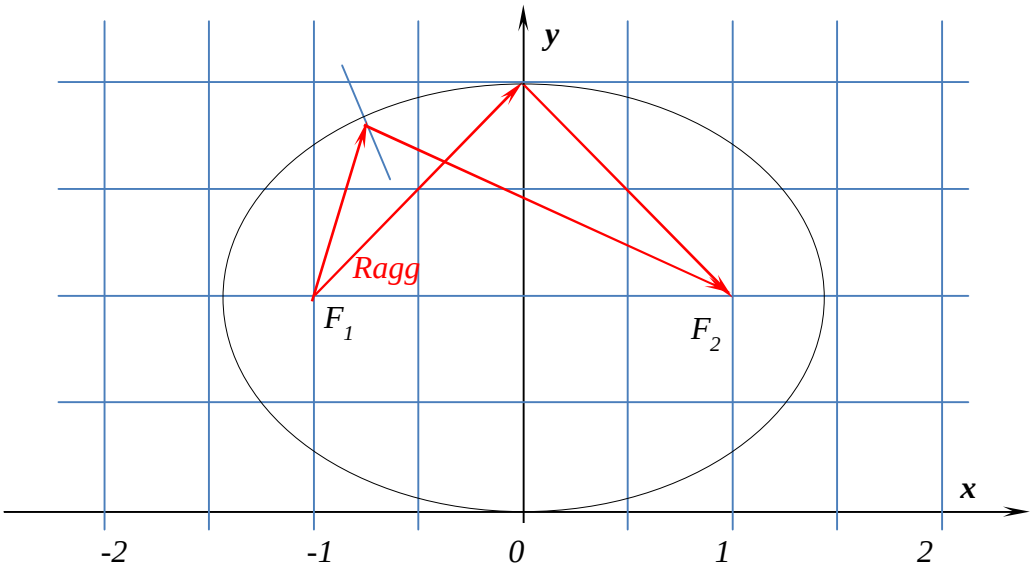

Figura 24 - Spécc elissoidal

Jë spécc sférich

I foma ij doi cas djë spécc sférich angav e djë spécc sférich convéss, che a son arpresentà sì sota an figura 25.

A l'é ciàir che adéss a venta consideré le lèj dl'arbatiment (dit ëdcò riflession) e donca l'ugualiansa dj'àngoj d'incidensa i e d'arbatiment a.

Sempe ant l'aprossimassion ëd Gauss, për në spécc sférich angav, com as vëdd ant la prima part dla figura, e tnisend cont dla convension ch'i l'oma fàit an sij segn, i podoma adaté 'l rasonament ch'i l'oma fàit për ël diòtr.

Ant la prima part dla figura i consideroma 'l triàngol P_1BC e i podoma scrive (teorema dij *sen*) , con le stesse posission ch'i l'oma fàit për ël diòtr arfrangent, che $\frac{sen\ i}{p_1 - R} = \frac{sen\ \alpha}{p_1}$ e che donca $\frac{sen\ i}{sen\ \alpha} = \frac{p_1 - R}{p_1}$. Ant l'istéssa manera dal triàngol CBP_2, i arcavoma la relassion $\frac{sen\ a}{sen\ \alpha} = \frac{R - p_2}{p_2}$.

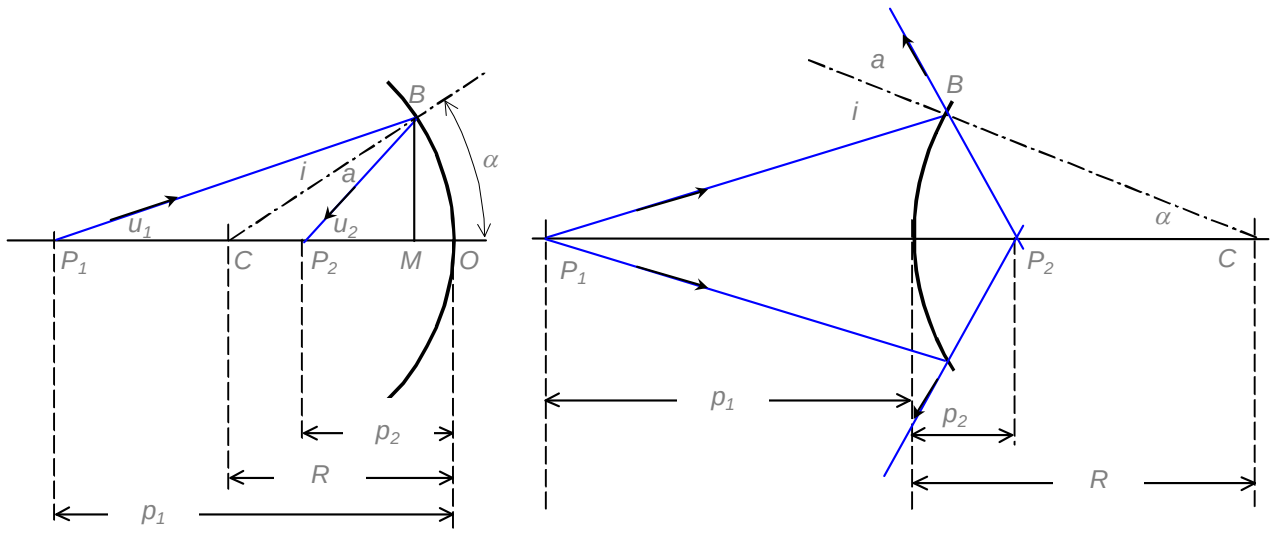

Figura 25 - Spécc ësférich

I eliminoma $sen\ \alpha$ fra le doe e i disoma che a venta ch'a sia $sen\ i = sen\ a$. An costa manera as oten che $\frac{p_1 - R}{p_1} = \frac{R - p_2}{p_2}$ che, semplificà, a pòrta a la relassion : $\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} = \frac{2}{R}$.

Se i suponoma che P_1 a vada vers l'anfinì, i l'avroma che P_2 a tend al pont F_2 a distansa f_2 dal cò O tal che : $\frac{1}{f_2} = \frac{2}{R}$. Ël pont F_2 as ës-ciama "***scond feu dlë spécc*** " e f_2 a l'é ***la "sconda distansa focal dlë spécc*** ". Da sì a ven sùbit che $f_2 = \frac{R}{2}$. Se i suponoma ëd mandé P_2 a l'anfinì le còse a son istésse, gavà la diferensa d'un segn, a rason dla convension fàita. I l'avroma che P_1 a tend al pont F_1 a distansa f_1 dal cò O tal che : $\frac{1}{f_1} = \frac{2}{R}$. Ël pont F_1 as ës-ciama "***prim feu dlë spécc*** " e f_1

a l'é la ***"prima distansa focal dlë spécc*** ". Da sì a ven sùbit che $f_1 = \frac{R}{2}$. An pràtica ij doi feu a coincido.

I l'oma vist che ant ël pont P_2 a convergio ij ragg che a seurto da P_1, e donca P_2 a l'é imàgin real ëd P_1.

Se i vardoma lë spécc convéss, le còse a van quasi a l'istéssa manera, ma i l'avroma che dal triàngol P_1BC as treuva $\frac{sen\ i}{sen\ \alpha} = \frac{p_1 + R}{p_1}$, mentre dal triàngol CBP_2, as treuva 'ncora la relassion $\frac{sen\ a}{sen\ \alpha} = \frac{R - p_2}{p_2}$. Con j'istésse operassion ëd prima i trovoma $\frac{p_1 + R}{p_1} = \frac{R - p_2}{p_2}$. Costa espression semplificà a pòrta a $\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} = -\frac{2}{R}$. Da sì, a l'istéssa manera 'd prima, as peul arcavé ij doi feu F_1 e F_2 e le doe ditsanse focaj f_1 e f_2, e as treuva che F_1 e F_2 a stan da l'àutra part dlë spécc. Le distanse f_1 e f_2 a valo $f_1 = f_2 = -\frac{2}{R}$. An efét ij ragg a son nen mandà ant ël pont P_2, ma arbatù e mandà andarera coma se a rivèisso da P_2. Ëd sicur as peul vëdde 'l pont P_2 ant lë spécc, che però a l'é nen n'imàgin real ma a sarà " imagin vitual " dël pont P_1.

I notoma che ambelessì i l'oma fàit tut nòstr discors ant l'aprossimassion ëd Gauss, còsa che a l'era nen necessària për lë spécc paraboloidal.

Jë spécc pian e l'imàgin vitrual

A-i resta pòch da dì an sjë spécc pian, giusta che as compòrto coma spécc ësférich con ragg anfinì. Ij feu a son tuti doi a l'anfinì e l'imàgin ch'a formo a l'é virtual e simétrica rispét a l'ogét (con lë spécc ch'a l'é l'ass ëd simetrìa), com as vëdd an figura 26.

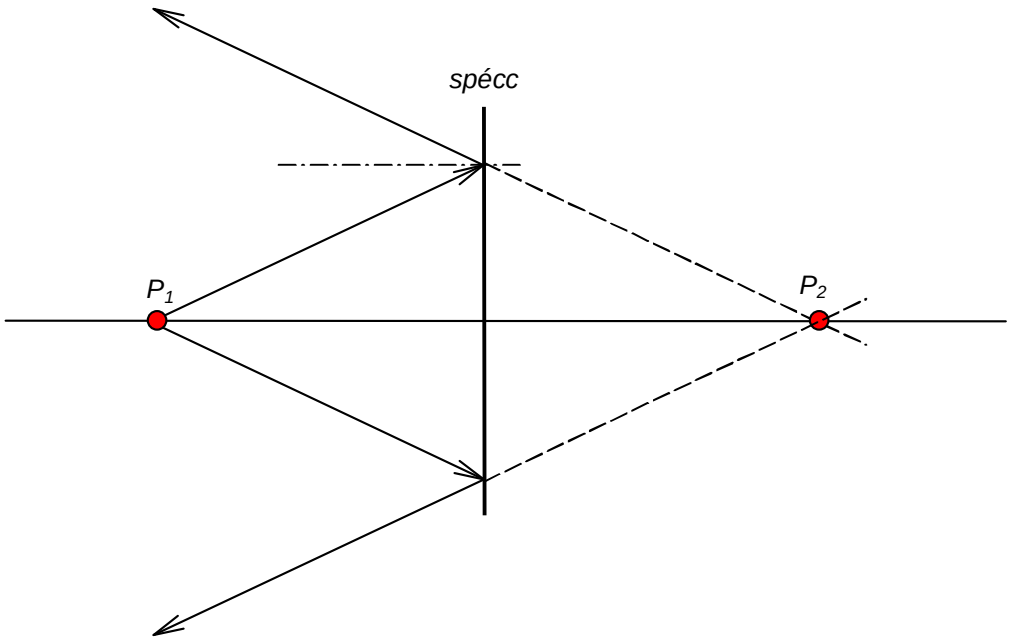

Figura 26 - Spécc pian

A propòsit d'imàgin virtual, dont i l'oma parlà sensa definìla, i pijoma figura 25 për dé na definission a la bon-a. Se na përson-a a stà a la snistra dlë spécc, a peul vëdde sens'àutr P_1, dal moment che sta sors ëd ragg a manda costi nen mach a lë spécc, ma da's për tut. Ansema a costi ragg a vëdd ëdcò coj arbatù da lë spécc che, an vers contràri, a convergio ant ël pont P_2. An sto pont a rivo nen, ma për chi a stà a la snistra dlë spécc a l'é precis coma se a rivèisso da P_2, e donca chièl a vëdd na sors an P_2. Costa al'é n'imàgin che as vëdd ma a-i é nen, e a l'é dita "***imàgin virtual*** ".

An pràtica, andova a convergio ij ragg fìsich as forma n'imàgin real, andova a convergio mach ij prolungament dij ragg as forma n'imàgin virtual. L'imàgin virtual a l'é donca quaicòs che l'euj a antèrptra coma imàgin a rason dla diression dij ragg, che an sla rétina dl'euj a formo peui n'imàgin real.

La difusion dla lus e ij color

I giontoma giusta quàich idèja su sto sogét. I l'oma vist j'efét an sla lus dij diòtr e djë spécc, ma la lus ch'i vardoma tuti ij moment, ëd sòlit, a 'ncontra nen costi element. I l'oma vist che la lus bianca a l'è componùa da le lus dij color che van dal ross al violet, che la lus natural che a ven dal sol a peul esse considerà bianca, e i sperimentoma che j'ogét anluminà pì ò manch da costa lus a l'han un color che a peul andé dal bianch al nèir, e che a peul esse 'dcò un color che a-i è nen ant la gama dal ross al violet, coma pr'esempi vàire noanse dël verd, tuti ij color maròn, e via fòrt.

A l'è ciàir che se i podoma vëdde n'ogét a veul dì che cost an manda na lus che a l'è diferenta da lòn che l'ogét a l'ha antorna. A l'è 'dcò ciàir che a lë scur complét i podoma pì nen vëdde gnun ogét che a produva nen chèl midem ëd lus.

A sta mira as peul conclude che cand n'ogét opach a l'è anvestì da lus, donca a l'è anluminà, soa surfassa a armanda la lus ch'a arsèiv (ò mej, na part dla lus ch'a arsèiv) an tute le diression. A l'è coma se la surfassa a fussa fàita da cite surfasse elementar orientà an manera casual an tute le diression (rugosità dla surfassa), che a arbato part ëd la lus. As peul ëdcò pensé che la lus ch'a riva a céd energìa a j'àtom (molécole) dla surfassa ecitandje, e costi a torno a lë stat d'arpòs mandand an diression casual le radiassion luminose. Costa a l'è la difusion dla lus. I podoma 'dcò pensé che ij doi fenòmeno a sio pì ò manch sempe present ansema.

I l'oma dit che la difusion a l'è dàita da j'ogét opach, ma 'dcò j'ogét trasparent a difondo la lus, contut che motobin manch, dësnò i podrìo nen vëdde, pr'esempi, le còse fàite 'd véder. Ëdcò l'ària a difond la lus, e se sòn as nòta nen ò bin pòch ant n'ambient cit, as nòta anvece bin ant l'atmosfera, che cand a l'è anluminà dal sol a dventa, da's për chila, motobin luminosa.

Ël color

I l'oma vist che la lus bianca a l'è formà da diferente lus colorà, che a cambio con continuità dal ross al violet. A ògni frequensa a corispond un diferent color, e donca ij color dla lus "mono-cromàtica" a son anfinì, ma con tut lòn a son nen tuti ij color che noiàutri i podoma vëdde an natura. Pr'esempi, com i l'oma dit, ant lë spettr dël sol a-i è nen la lus maròn, opura tute le noanse dël verd, e via fòrt. I notoma 'dcò che n'ogét colorà a peul cambié 'l color dont i lo vëddoma se i cambioma 'l color dla lus ch'i dovroma për anluminelo.

An efét, la sensassion dël color d'un pont (ò méj, ëd na cita surfassa elementar) a ven "sintetisà " da l'euj an fonsion dle frequense e relative intensità dla lus (ò dle lus) che l'euj a arsèiv da la surfassa midema.

Ij color ëd base e coj complementar

An efét, për produve tuti ij color che l'euj a l'è bon a sintetisé a basto tre color, mës-cià ant la manera convenienta da la mira dl'intensità, e sta trien-a a l'è diferenta an fonsion dla manera 'd produve 'l color. Ant la prima manera as produv na sors ëd lus ëd col color, mentre ant la sconda manera as produv ël color che as peul vëdde cand a l'è anluminà da lus bianca . La prima manera a l'è la sìntesi aditiva e la sconda a l'è ciamà la sìntesi sotrativa.

Ant la prima manera ij tre color fondamentaj a son : ***ross , verd , bleu*** . Na lus rossa pì na lus vërda pì na lus bleuva a produvo na lus bianca. L'euj a vëdd ël color bianch se l'intensità dle tre lus mës-cià a l'è l'istessa. Sto bianch a sarà pì ò manch luminos an fonsion dla luminosità dij tre color. Se costa a và a zero i l'avroma 'l nèir, e fra bianch e nèir a-i è tuta la gradassion ëd gris. Costa a l'è, pr'esempi, la manera dovrà da televisor e "mònitor" për oten-e ij color. L'intensità dij color an sël mònitor a và, 'd sòlit, da 0 a 255. Për avèj un maron, pr'esempi, as peul porté 'l ross a 200, ël verd a 150 e 'l bleu da 0 a 50. Ant l'anviron ëd costi valor a cambio la noansa e la luminosità.

Se a la lus bianca as gava un color, as oten ël ***complementar*** dël color gavà. Se antlora i gavoma 'l ***ross*** i otnoma 'l ***cian*** (ëdcò ciamà ***bleu/verd***), che a l'è dàit da verd e bleu. Se i gavoma 'l ***bleu*** i otnoma 'l ***giàun***, che a l'è dàit da verd e ross. Se i gavoma 'l ***verd*** i otnoma 'l ***magenta***, che a l'è dàit da ross e bleu.

Sti color ***giàun , cian , magenta*** , a son ancora tre color fondamentaj për la sconda manera 'd compon-e tuti ij color. Ël color as oten për sìntesi sotrativa, gavand a la lus bianca sti color an proporsion convenienta. Se anans a na lus bianca as buta un véder verd, la lus che a seurt a sarà vërda. Sòn a veul dì che 'l véder a l'ha gavà la component magenta da la lus, vis-a-dì ch'a l'ha gavà le component rossa e bleu. Le diferente tonalità as oten-o gavand pì ò manch l'un-a ò l'àutra dle component.

Sta sconda manera a l'è 'dcò cola che an fa vëdde ij color dle còse anluminà. La lus bianca ch'a bat an 's na surfassa vërda (pr'esempi un prà vist da lontan) a ven an part assurbìa da l'erba e an part arbatùa an tute le diression. Fra la part assurbìa, na part a ven dovrà a ecité molécole e grup ëd molécole che cand a torno a l'arpòs a emëtto na radiassion ant la gama dël verd coma emission pì bondosa, e peui ëdcò d'àutre frequense, ma an quantità bin pì cita. La surfassa vërda as compòrta donca com un filter che a assòrb ël magenta (ross e bleu). I podoma 'dcò pensé che la component vërda dla lus bianca a sia difondua e j'àutre assurbìe e l'arzultà a l'è l'istéss.

I l'oma vist che 'l complementar dël verd a l'è 'l magenta, e che na surfassa vërda, anluminà da lus bianca, a assòrb ël magenta e a armanda 'l verd. Se antlora i pijoma na surfassa vërda e la anluminoma con na lus magenta, sta lus a ven assurbìa e nen difondùa, e donca la surfassa an smija nèira, parèj coma se i vardoma la surfassa con un filter magenta (che donca a fërma la lus vërda).

Ël giàun a l'è 'l complementar dël bleu e donca un filter giàun a gava la component bleu da la lus bianca, lassand le component rossa e vërda (che adissionà ansema a dàn giusta ël giàun). Se dòp ël filter giàun as buta un filter cian, cost a l'è complementar dël ross, e donca a gava la component rossa e a resta mach pì la component vërda.

Sòn a l'è mostrà an figura 27.

An figura 28 i arportoma doe tonalità 'd maròn fàite për adission. Ant la gama dle frequense dla lus a 'é ciàir che a-i é nen na lus maròn, che a ven sitetisà da l'euj.

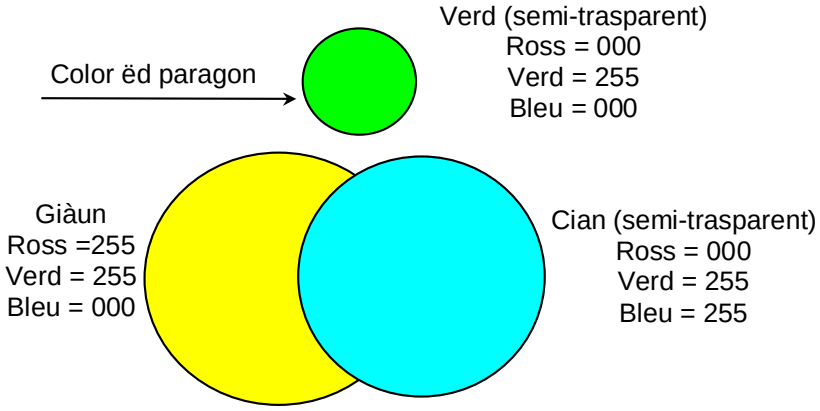

Figura 27 - Composission për sotrassion

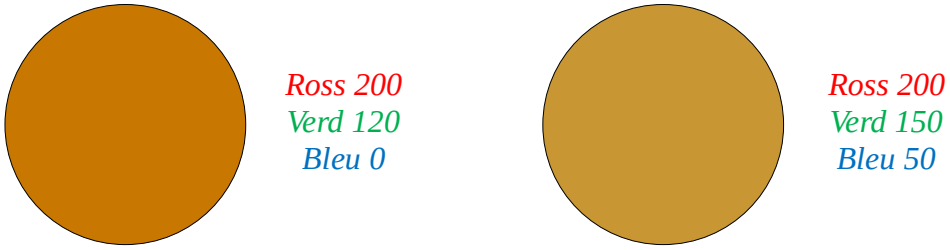

Figura 28 - Color maròn fàit për adission.

Pagina lassà veuida apòsta