Radiazione Ionizzante: ⇔ radiazione con $E_\gamma > W_e$ ↗ energia per estrarre e' da atomo/molecola

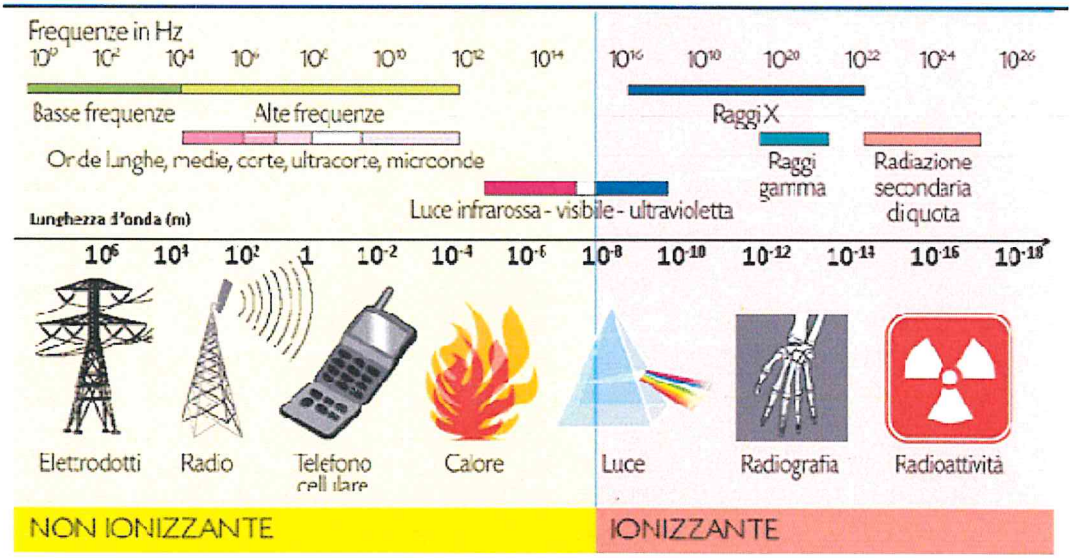
La radiazione ionizzante è la radiazione che trasporta abbastanza energia da liberare elettroni da atomi o molecole colpiti, ionizzandoli. La radiazione ionizzante può essere composta da particelle subatomiche o ioni o atomi che si muovono ad alte velocità, o anche onde elettromagnetiche nell'estremità più energetica dello spettro elettromagnetico. In particolare per quanto riguarda le onde e.m.: raggi gamma, i raggi X e la porzione ad alta frequenza degli ultravioletti dello spettro elettromagnetico sono ionizzanti. Il confine che esiste nell'ultravioletto tra radiazioni elettromagnetiche ionizzanti e non ionizzanti non è nettamente definito, dal momento che atomi e molecole diversi vengono ionizzati a energie differenti. La definizione convenzionale colloca il confine a un'energia del fotone tra 10 eV e 33 eV nell'ultravioletto (NB 13.6 eV energia ionizzazione idrogeno).

elettroni legati → γ assorbito completamente in metallo

Radiazione incidente su elettrone libero o debolmente legato → γ non completamente assorbito ma cede parte dell'energia e viene scatterata (deviata)

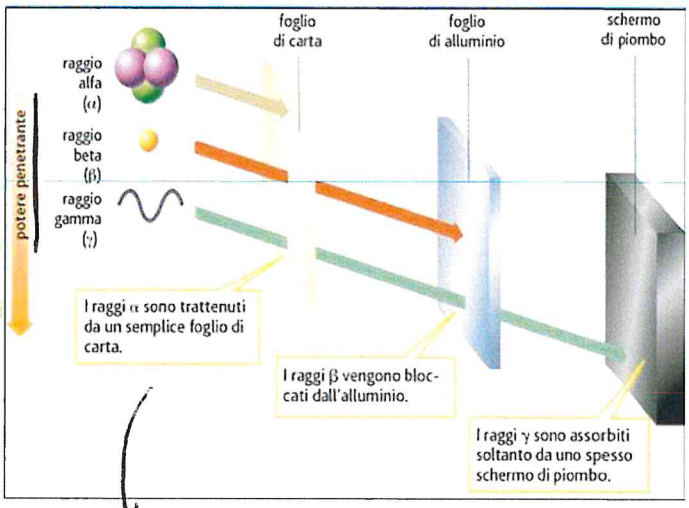
Quando la frequenza delle onde elettromagnetiche è superiore a quella visibile, gli effetti della quantizzazione delle onde elettromagnetiche sono più evidenti, per cui in tale parte dello spettro elettromagnetico, si parla di fotoni. Anche se i fotoni sono elettricamente neutri, possono ionizzare gli atomi direttamente attraverso l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton. Ciascuna di queste interazioni provocherà l'espulsione di un elettrone da un atomo a velocità relativistiche, trasformando tale elettrone in una particella beta (particella beta secondaria) che ionizzerà molti altri atomi. Poiché la maggior parte degli atomi interessati sono ionizzati direttamente dalle particelle beta secondarie, i fotoni sono chiamati radiazioni indirettamente ionizzanti.

Le particelle subatomiche ionizzanti più comuni comprendono le particelle alfa (nuclei elio), le particelle beta (elettroni e positroni) e i neutroni. Quasi tutti i prodotti del decadimento radioattivo sono ionizzanti perché l'energia del decadimento radioattivo è generalmente molto più alta di quella richiesta per ionizzare. Altre particelle subatomiche ionizzanti che esistono naturalmente sono i muoni, i mesoni, i positroni, e altre particelle che costituiscono i raggi cosmici secondari, i quali vengono prodotti dopo che i raggi cosmici primari interagiscono con l'atmosfera terrestre[2][3]. I raggi cosmici sono generati dalle stelle e da alcuni eventi celesti catastrofici come l'esplosione di una supernova. Ogni particella carica massiva può ionizzare gli atomi direttamente tramite interazione fondamentale attraverso la forza di Coulomb se trasporta un'energia cinetica sufficiente.



L'uomo è da sempre esposto a radiazioni ionizzanti di origine naturale (raggi cosmici, prodotti di decadimento dei cosiddetti nuclidi primordiali, ecc.); a partire dalla fine del diciannovesimo secolo le radiazioni ionizzanti sono state deliberatamente utilizzate per scopi medici e industriali, e ciò ha comportato la possibilità di un'accresciuta esposizione da parte dei lavoratori che le utilizzano e della popolazione in generale. Nel caso dell'esposizione di esseri umani a radiazioni ionizzanti, le particelle cariche formatesi possono determinare, in funzione dell'entità dell'esposizione e delle modalità con cui questa avviene, danni per la salute molto gravi. Il potere penetrante di una radiazione ionizzante, e quindi la sua capacità di raggiungere i tessuti interni ed organi del nostro corpo, dipende dalla sua natura (particellare o elettromagnetica), e dalla sua energia.

Potere Penetrante



Cmq dannosa se sorgente RADIOATTIVA viene inalata o ingerita! Tipo il RADON

La dosimetria è la disciplina che si occupa di misurare e valutare la quantità di energia depositata dalle radiazioni ionizzanti nell'unità di massa del materiale attraversato. Si definisce pertanto la ***dose assorbita****:*

(D) : energia assorbita per unità di massa [J/kg] = [Gray]

come l'energia assorbita dal materiale per unità di massa del materiale stesso.

Definite nell'ambito della RADIOPROTEZIONE

In dosimetria radioprotezionistica si introducono altre grandezze dosimetriche allo scopo di valutare i rischi sanitari derivanti dall'esposizione del corpo umano e dei suoi organi alle radiazioni ionizzanti. Si definisce pertanto ***dose equivalente****:*

$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$ [Sv] Sievert

w_R: peso legato al tipo di radiazione incidente (vedi Tabella dopo) → valori maggiori per danni biologici maggiori

$D_{T,R}$: per un dato tessuto/organo

ovvero la dose media assorbita in un organo o tessuto dovuta alla radiazione R e moltiplicata per un fattore peso w_R che tiene conto del tipo e di energia della radiazione ionizzante che attraversa quel tessuto od organo.

Per tener conto della diversa radiosensibilità di un determinato organo o tessuto, si definisce la ***dose efficace*** *E come somma delle dosi equivalenti pesate con un fattore peso w_T in tutti i tessuti ed organi del corpo:*

Dose Efficace

$E = \sum_T w_T H_T$ [Sv] $= \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$

W_T: fattore di peso legato all'organo/tessuto => è legato ai possibili danni biologici

→ tessuto investito

→ Radiosensibilità SPECIFICA

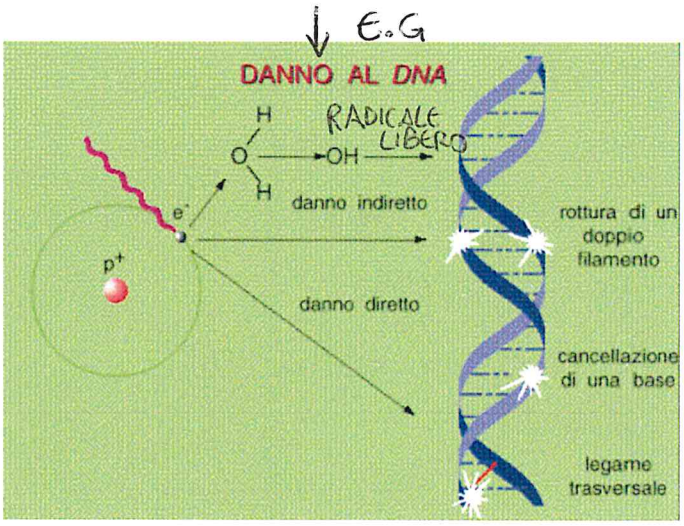
GONADI 0,2
SENO 0,05
Polmoni 0,12

A parità di dose assorbita e di qualità della radiazione, il danno biologico indotto può essere diverso a seconda delle caratteristiche del tessuto bersaglio, ossia della sua radiosensibilità specifica.

Tipo di radiazione	Fattore di ponderazione della radiazione, w_R
Fotoni	1
Elettroni[a] e muoni	1
Protoni e pioni carichi	2
Particelle alfa, frammenti di fissione, ioni pesanti	20
Neutroni	Funzione continua dell'energia del neutrone

Attraverso il processo di ionizzazione, le radiazioni trasferiscono una quantità di energia all'interno del mezzo considerato: tale deposito di energia è correlato agli effetti delle radiazioni sulla materia vivente.

- *Effetto biologico: è la diretta conseguenza dell'esposizione alle radiazioni, costituita da alterazioni o modificazioni delle caratteristiche biologiche dell'organismo che non necessariamente sono dannose per l'individuo e i suoi discendenti.*
- *Danno biologico: quando l'effetto biologico supera la capacità di compensazione biologica dell'organismo.*



I processi di interazione della radiazione con la materia si verifica in tempi estremamente brevi. La catena di eventi che possono indurre l'insorgenza di un determinato danno biologico può richiedere fino ad alcuni anni. Infine il danno può essere trasmesso alla progenie e manifestarsi anche dopo decine di anni in determinate condizioni di esposizione. Il percorso che porta all'induzione di un determinato danno a seguito dell'interazione iniziale è non lineare ed è affetto da casualità intrinseca. Un singolo evento ionizzante può evolvere in diversi modi ed è praticamente impossibile prevederne i diversi canali di interazione. Gli effetti della radiazione sull'uomo possono essere:

- *Somatici: interessano le cellule somatiche, ossia le cellule che costituiscono i tessuti dell'individuo e che scompaiono all'atto della sua morte.*

- *Genetici: interessano il corredo genetico delle cellule riproduttive e può essere trasmesso alla progenie attraverso la riproduzione.*

Inoltre è possibile individuare effetti deterministici (radiodermatite, infertilita') e stocastici (e.g. mutazioni genetiche, tumori e leucemie), i primi con effetti immediati, i secondi tardivi. Un effetto somatico può essere sia deterministico, sia stocastico mentre l'effetto genetico è per sua natura stocastico e quindi ha carattere ereditario.

Gli effetti deterministici si manifestano su tutti gli individui esposti a dosi superiori ad un certa soglia, e la loro gravita' aumenta al crescere della dose. L'entità dell'effetto biologico dipende dalla ***radiosensibilità specifica*** *dell'organo. L'effetto biologico è tanto maggiore quanto più la cellula è vicina al compartimento staminale. Per questo motivo i tessuti più radiosensibili sono il midollo osseo rosso, i linfonodi, la mucosa gastoenterica, la cute e il cristallino. Entro certi limiti, questi effetti sono reversibili.*

→ Zone specifiche del corpo dove si trovano le cellule staminali

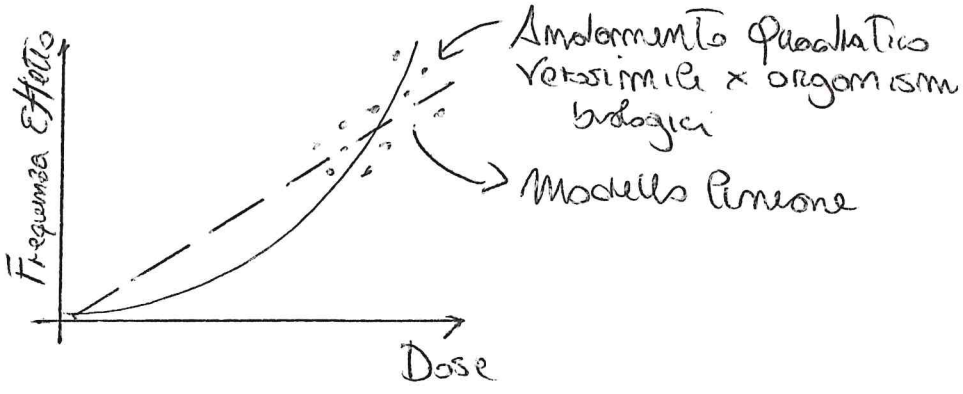
P(danno) a Dose

Gli effetti stocastici sono caratterizzati dall'assenza di una dose soglia, o meglio dall'attuale impossibilità di dimostrarne l'esistenza, e dal carattere probabilistico. Inoltre: a) al crescere della dose aumenta la probabilità di insorgenza del danno ma non la sua gravità; b) l'insorgenza è generalmente tardiva (anni o decenni); c) gli effetti stocastici delle radiazioni non sono distinguibili da quelli determinate da altre cause (ovvero sono aspecifici), i cosiddetti casi spontanei d) e sono irreversibili.
L'aspecificita' degli effetti stocastici somatici comporta una difficoltà oggettiva nel quantificare, anche su base epidemiologica, gli effetti stocastici delle radiazioni, ~~radiazioni~~, specie nel campo delle basse dosi, che è quello di maggiore ~~maggiore~~ interesse in radioprotezione. La fonte principale delle attuali conoscenze sugli effetti stocastici proviene da studi epidemiologici condotti sui sopravvissuti delle esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki, un gruppo di studio composto da una popolazione di circa 90000 persone. Da questi studi epidemiologici, è risultato che in gruppi esposti a dosi efficaci pari a:

$\sim 100 \cdot 10^{-3}$ Sv
- *qualche centinaio di mSv (millisievert): si è osservato un aumento statisticamente significativo ~~significativo~~ della frequenza frequenza di tumori;*

$\sim 10 \cdot 10^{-3}$ Sv
- *qualche decina di mSv: non è possibile dimostrare, né escludere che vi sia un incremento delle patologie tumorali, essendo gli eventuali effetti delle radiazioni nascosti dalle fluttuazioni statistiche dei casi spontanei.*

In particolare non è stato possibile stabilire se vi sia una soglia di dose al di sotto della quale si possa ragionevolmente escludere il verificarsi di danni stocastici. Di conseguenza, ai fini della prevenzione dei rischi delle esposizioni a basse dosi, è stata adottata cautelativamente l'ipotesi della linearità senza soglia: si ipotizza che a qualsiasi dose, per quanto piccola, sia associata una probabilità non nulla che si manifesti manifesti un danno di tipo stocastico ~~stocastico~~ e che questa probabilità ~~probabilità~~ sia proporzionale ~~proporzionale~~ alla dose efficace.



Le radiazioni ionizzanti fanno normalmente parte dell'ambiente in cui viviamo e hanno accompagnato lo sviluppo dell'ecosistema terrestre e del genere umano. Il campo di radiazioni dovuto a sorgenti naturali, la radiazione di fondo, è composta da tre componenti principali:

- i raggi cosmici ~~cosmici~~: costituiti ~~costituiti~~ da ~~radiazioni~~ radiazioni primarie ~~primarie~~ di origine origine extraterrestre ~~extraterrestre~~ emesse da corpi stellari e, in misura minore, dal Sole, accompagnate da radiazioni secondarie da esse prodotte nella stessa atmosfera;
- i radioisotopi cosmogenici: isotopi radioattivi che si producono per effetto dell'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera e con la superficie terrestre; (^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C ...)
- I radioisotopi primordiali; isotopi radioattivi presenti fin dall'epoca di formazione del Sistema Solare e non ancora decaduti in forme stabili.

Radiazione di Fondo

0,38 mSv/

~ µSv/yr

→ 57 nGy/h => 2-4 mSv/yr

Gy = J/Kg

I raggi cosmici primari vengono quasi totalmente assorbiti negli strati più alti dell'atmosfera e già alla quota di 20 km dal livello del mare i raggi cosmici sono quasi interamente di natura secondaria. Il contributo medio mondiale mondiale in termini di dose efficace ~~efficace~~ è 0.38 mSv.

Equivalente di dose assorbito per ogni ora a varie altezze per effetto dei raggi cosmici

Altezza (metri)	Dose (microSievert/ora)
20.000 (aerei supersonici)	13
12.000 (aerei di linea)	5
4000 (altissima montagna)	0,1
2000 (alta montagna)	0,2
0 (mare)	0,03

La radiazione terrestre ha origine dai radioisotopi naturali presenti a diversa concentrazione nelle acque, nelle rocce e nei terreni. Tali radiazioni contribuiscono all'irradiazione esterna ed interna dei viventi. L'esposizione esterna ~~esterna~~ è dovuta principalmente ai raggi gamma emessi da radioisotopi naturali presenti nel suolo e nei materiali da costruzione. Il rate di dose assorbito in aria, pesato sulla popolazione mondiale, è valutato in 57 nGy/h, che coincide col valore medio registrato in Italia.

e.g. radon

Per effetto del fondo naturale ciascun individuo assume in media ogni anno una dose variabile orientativamente fra 2 e 4 mSv, i n dipendenza delle caratteristiche geomorfologiche del luogo di residenza residenza e del tipo di vita, per il solo fatto di vivere sul pianeta ~~pianeta~~ Terra, che è un pianeta naturalmente radioattivo. In Italia la dose efficace media del fondo naturale è pari a 3.4 mSv all'anno. A queste dosi si devono aggiungere quelle dovute alle sorgenti artificiali sviluppate dalle pratiche antropiche: medico diagnostiche, applicazioni industriali, produzione di energia nucleare, nucleare, fall -out radioattivo radioattivo degli esperimenti esperimenti nucleari nucleari in atmosfera.

Diagnostica Medica 1,2 mSv/yr → Radiografia ~ 0,05-3,2 m
→ TAC ~ 5-10 mSv/pas

Incidente Chernobyl 0,002 mSv/yr

Vedi Tabella

A quante radiazioni è sottoposto un italiano in un anno?

Sorgente		Dose efficace media individuale mSv/anno
Naturale	Esposizione esterna:	
	Raggi cosmici	0,4
	Radiazione gamma terrestre	0,6
	Esposizione interna:	
	Inalazione (radon e toron)	2
	Inalazione (diversa da radon e toron)	0,006
	Ingestione	0,3
TOTALE NATURALE		**3,3**
Artificiale	Diagnostica medica	1,2
	Incidente di Chernobyl	0,002
	Test nucleari	0,005
	Industria nucleare	0,0002
TOTALE ARTIFICIALE		**1,2**

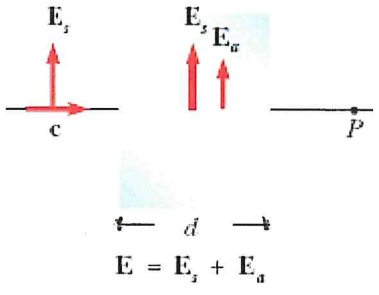
Totale = 4.5 mSv

Riflessione e rifrazione delle onde:

Le velocità di propagazione delle onde, di qualsiasi natura esse siano, dipende dalle proprietà fisiche del mezzo in cui avviene la propagazione. Dobbiamo pertanto aspettarci che nel passaggio di un'onda da un mezzo ad un altro la velocità di propagazione cambi; si osserva che in corrispondenza cambia di norma la direzione di propagazione, fenomeno della *rifrazione* (o trasmissione), e che insieme alla rifrazione si verifica la *riflessione* dell'onda.

Le relazioni che legano la direzione dell'onda riflessa e quella dell'onda trasmessa alla direzione dell'onda incidente risultano indipendenti dalla natura dell'onda. Invece le relazioni che legano l'ampiezza dell'onda incidente ξi all'ampiezza dell'onda riflessa ξr e all'ampiezza dell'onda trasmessa ξt dipendono dalla natura dell'onda.

Supponiamo che un fascio di radiazione elettromagnetica attraversi una lastra di materiale dielettrico trasparente di spessore d prima di raggiungere un osservatore. In queste condizioni si osserva che la radiazione impiega un tempo t ' = d /v per percorrere la distanza d maggiore del tempo t che avrebbe impiegato a percorrere la stessa distanza nel vuoto (t = d /c). Questa osservazione implica che v < c. Si definisce quindi una quantità *indice di rifrazione, n,* sempre maggiore dell'unità:



$$t' = \frac{d}{v} > \frac{d}{c} \Rightarrow v < c$$

$$n = \frac{c}{v}$$

Indice di Rifrazione

$n > 1$

Eg.

$n_{aria} = 1{,}0003$

$n_{H_2O} = 1{,}333$

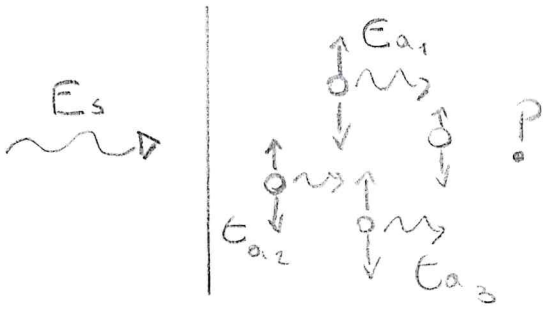
$n_{olio} = 1{,}47$

$n_{vetro} = 1{,}5$

$n_{diamante} = 2{,}42$

Una spiegazione qualitativa di tale effetto si può cercare nella circostanza che il campo E_s associato alla sorgente S agisce sugli elettroni legati degli atomi del dielettrico, ponendoli in oscillazione con la sua stessa pulsazione ω. Gli elettroni comportandosi come un sistema di dipoli elettrici oscillanti, producono, a loro volta, un campo elettrico E_a , correlato ad E_s in quanto da questo originato. Uno studio dettagliato dimostra che il campo elettrico risultante $E = E_s + E_a$ è modificato rispetto ad E_s e si propaga all'interno della lastra con velocità v = c /n, minore di c.

Nota: Non c'e' alcuna ragione per ritenere che un atomo isolato nel vuoto emetta una radiazione che si propaga con velocita' c, mentre un atomo circondato da altri atomi in un mezzo emetta una radiazione che si propaga con v<c: in ogni caso la velocita' dell'onda e' sempre c. La differenza sostanziale e' che nel caso di un'onda che si propaga in un mezzo, l'onda incidente eccita l'emissione degli atomi, e pertanto il campo effettivo agente sul singolo atomo non è soltanto il campo incidente, bensì la sovrapposizione di tutti i campi emessi dagli atomi eccitati e di quello incidente. Dunque l'emissione del generico atomo non sara' in fase con l'onda incidente, e l'onda risultante sara' la sovrapposizione di un gran numero di onde tutte sfasate tra loro. L'effetto netto e' quello di ottenere una variazione della fase dell'onda che si propaga nel mezzo rispetto all'onda incidente, che formalmente coincide con il dire che la velocita' dell'onda nel mezzo è minore di c.



Fase Sorgente

$$\vec{E}(P) = \vec{E}_s(P,\omega,\phi_s) + \sum \vec{E}_{a_i}(P,\omega,\phi_i)$$

Onda che si propaga nel mezzo

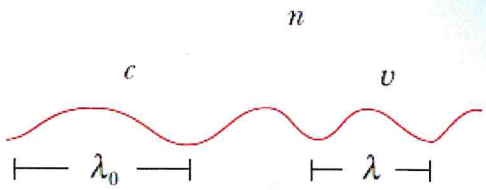
ognuno con una fase

ν, ω => Non variano (infatti dipendono dalla sorgente e caratterizzano l'onda)

Nell'attraversamento di una superficie di separazione tra due mezzi la frequenza e la pulsazione non variano, mentre la lunghezza d'onda e il numero d'onda variano. Infatti mentre la frequenza, la pulsazione, è determinata dal meccanismo con cui la sorgente ha prodotto l'onda, la lunghezza d'onda, il numero d'onde, varia come conseguenza della variazione della velocità di propagazione. Dette v1 e v2 le velocità di propagazione dell'onda nei due mezzi abbiamo:

$$\omega = 2\pi\nu \quad , \quad \lambda_1\nu = v_1 \quad , \quad \lambda_2\nu = v_2 \quad ,$$

$$k_1 = \frac{\omega}{v_1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} \quad , \quad k_2 = \frac{\omega}{v_2} = \frac{2\pi}{\lambda_2}$$



$\omega = v_1 k_1 = v_2 k_2$

$\nu = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$ $\Longrightarrow$ $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$, $\frac{k_1}{k_2} = \frac{v_2}{v_1}$.

In particolare per un'onda e.m. che passi dal vuoto ad un mezzo trasparente vale la relazione:

Se passo dal vuoto ad un mezzo: $v_1 = c$; $\lambda_1 = \lambda_0$ => $\lambda_2 = \lambda$ $v_2 = v$

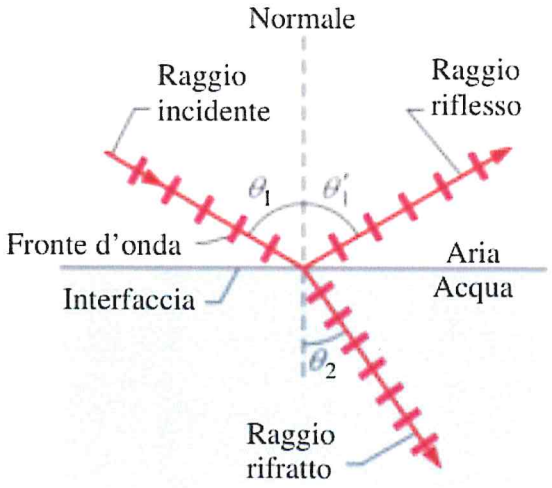
$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_0} n = k_0 n \quad ,$$

$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c}{v} = n > 1 \Rightarrow \lambda < \lambda_0$

↳ si riduce la lunghezza d'onda

dove n è l'indice di rifrazione del mezzo, che supponiamo maggiore di 1, come avviene per la luce visibile. In questo caso, la lunghezza d'onda in un mezzo è minore della lunghezza d'onda nel vuoto.

Consideriamo ora la propagazione di un raggio incidente (monocromatico) con angolo ϑ_1 su una superficie semitrasparente (e.g. acqua). Parte della luce viene riflessa dalla superficie, cioè si propaga di nuovo come un raggio che si allontana dalla superficie, come se rimbalzasse su di essa. L'altra parte del raggio si propaga nel mezzo. L'attraversamento da parte della luce di una superficie di separazione (o interfaccia) tra due mezzi materiali è chiamato rifrazione, e la luce si dice rifratta. Salvo che nel caso particolare di incidenza normale alla superficie, la rifrazione provoca sempre una deviazione del raggio incidente, come se il raggio venisse «piegato» dalla rifrazione. Si



»)

noti nella figura che la deviazione avviene solo al passaggio attraverso la superficie; all'interno del mezzo il raggio prosegue in linea retta. Le leggi che regolano la propagazione dei due raggi, riflesso e rifratto sono:

- Legge della riflessione: Il raggio riflesso giace sul piano di incidenza e forma un angolo di riflessione uguale a quello di incidenza, entrambi misurati rispetto alla normale.

$$\theta_1' = \theta_1 \qquad \text{(riflessione)}$$

- Legge della rifrazione: Il raggio rifratto giace nel piano di incidenza e forma un angolo di rifrazione legato all'angolo di incidenza dalla relazione

$$n_2 \sin\theta_2 = n_1 \sin\theta_1 \qquad \text{(rifrazione)}$$

(Legge di Snell)

Da cui segue:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

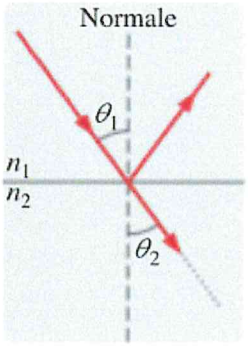
Possiamo riscrivere l'equazione per la rifrazione come:

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$$

→ Si possono avere tre generi di risultati:

1. Se $n_2 = n_1$, allora $\vartheta_2 = \vartheta_1$. In questo caso la rifrazione non piega il fascio incidente, che prosegue senza deviazioni, come in figura a.
2. Se $n_2 > n_1$, allora $\vartheta_2 < \vartheta_1$. In questo caso la rifrazione piega il fascio incidente avvicinandolo alla normale, come in figura b.
3. Se $n_2 < n_1$, allora $\vartheta_2 > \vartheta_1$. In questo caso la rifrazione piega il fascio incidente allontanandolo dalla normale, come in figura c.

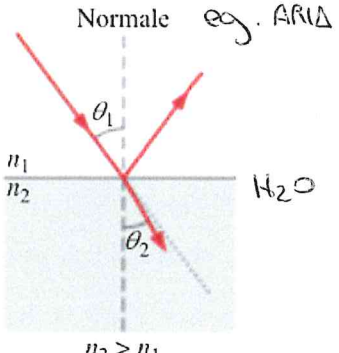
Se gli indici di rifrazione sono uguali, non si ha deviazione



$n_2 = n_1$

(a)

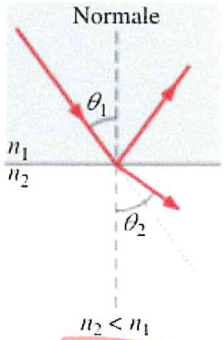
Se l'indice del secondo mezzo è maggiore, il raggio si *avvicina* alla normale



$n_2 > n_1$

(b)

Se l'indice del secondo mezzo è minore, il raggio si *allontana* dalla normale

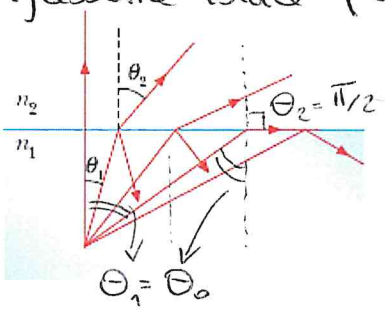


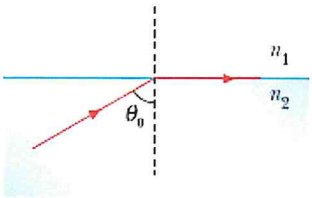
$n_2 < n_1$

(c)

La terza situazione ($\theta_2 > \theta_1$) presenta un caso limite: al crescere dell'angolo di incidenza θ_1 l'angolo di trasmissione θ_2, che cresce più rapidamente, raggiunge ad un certo punto il valore $\pi/2$ – per cui $\text{sen}(\pi/2)=1$ – precisamente in corrispondenza al valore θ_0 dell'angolo di incidenza tale che:

$$\text{sen}\theta_0 = \frac{n_2}{n_1}$$





Per valori di θ_1 maggiori di θ_0 non esistono valori reali di θ_2 che soddisfino la legge di Snell e ciò significa che l'onda rifratta non si forma più, ovvero che l'onda incidente è totalmente riflessa all'interno del primo mezzo. Il fenomeno si chiama riflessione totale e l'angolo θ_0 è detto angolo limite.

Si noti che questa equazione può essere utilizzata solo quando n_1 è maggiore di n_2. Cioè, la riflessione interna totale si verifica solo quando la luce si propaga da un mezzo di un dato indice di rifrazione a un mezzo di indice di rifrazione minore. Questo è il motivo per cui il termine interna viene aggiunto alla definizione – la luce deve essere inizialmente all'interno di un materiale di indice di rifrazione più alto rispetto a quello del materiale esterno. Se n_1 fosse minore di n_2, l'Equazione darebbe $\text{sen}\,\theta_0 > 1$, il che è un risultato assurdo poiché il seno di un angolo non può mai essere maggiore di uno.

Un'utilizzazione interessante del fenomeno della riflessione totale si ha nel trasporto di un fascio luminoso lungo un determinato percorso; Le fibre ottiche, prodotte solitamente in quarzo o con resine plastiche sotto forma di cilindri del diametro inferiore al millimetro, sono strumenti utili per trasmettere luce e immagini tra due punti, lungo un cammino qualsiasi, sfruttando il fenomeno della riflessione totale. Un fascio di luce può entrare nella sezione di testa della fibra con un'angolazione tale che, per effetto della rifrazione, l'angolo di incidenza sulla parete laterale della fibra sia maggiore dell'angolo limite per quel materiale. In tal modo si ha la riflessione totale e la propagazione del fascio luminoso fino all'altra estremità della fibra. A questo scopo, solitamente le fibre ottiche sono rivestite di una guaina a minor indice di rifrazione della fibra stessa.

così che $n_2 < n_1$

Principio di Huygens-Fresnel

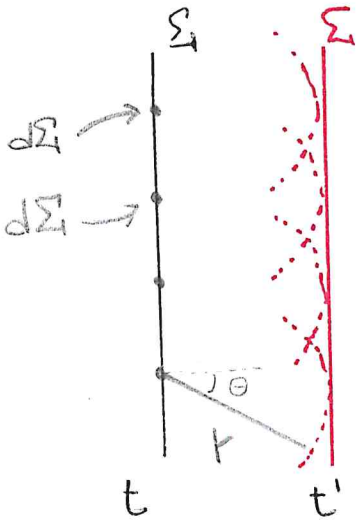
→ Ogni elemento infinitesimo $d\Sigma_1$ di una superficie fronte d'onda Σ_1 si può considerare come una sorgente di onde secondarie sferiche, la cui ampiezza è proporzionale all'ampiezza della dell'onda primaria e dell'area $d\Sigma_1$. La perturbazione in un dato punto si può sempre ottenere come sovrapposizione di tutte le onde sferiche elementari che lo raggiungono:

$$\xi_2(P) = \frac{K}{i\lambda}\int_{\Sigma} d\Sigma \cdot \xi_2(Q)\frac{e^{ikr}}{r}\cos$$

→ angolo fronte e punto P

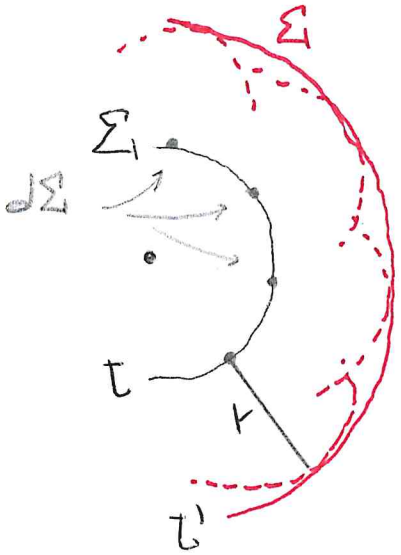
→ Principio di sovrapposizione

e.g. Onda Piana



$$r = v\Delta t = v(t'-t)$$

Onda Sferica

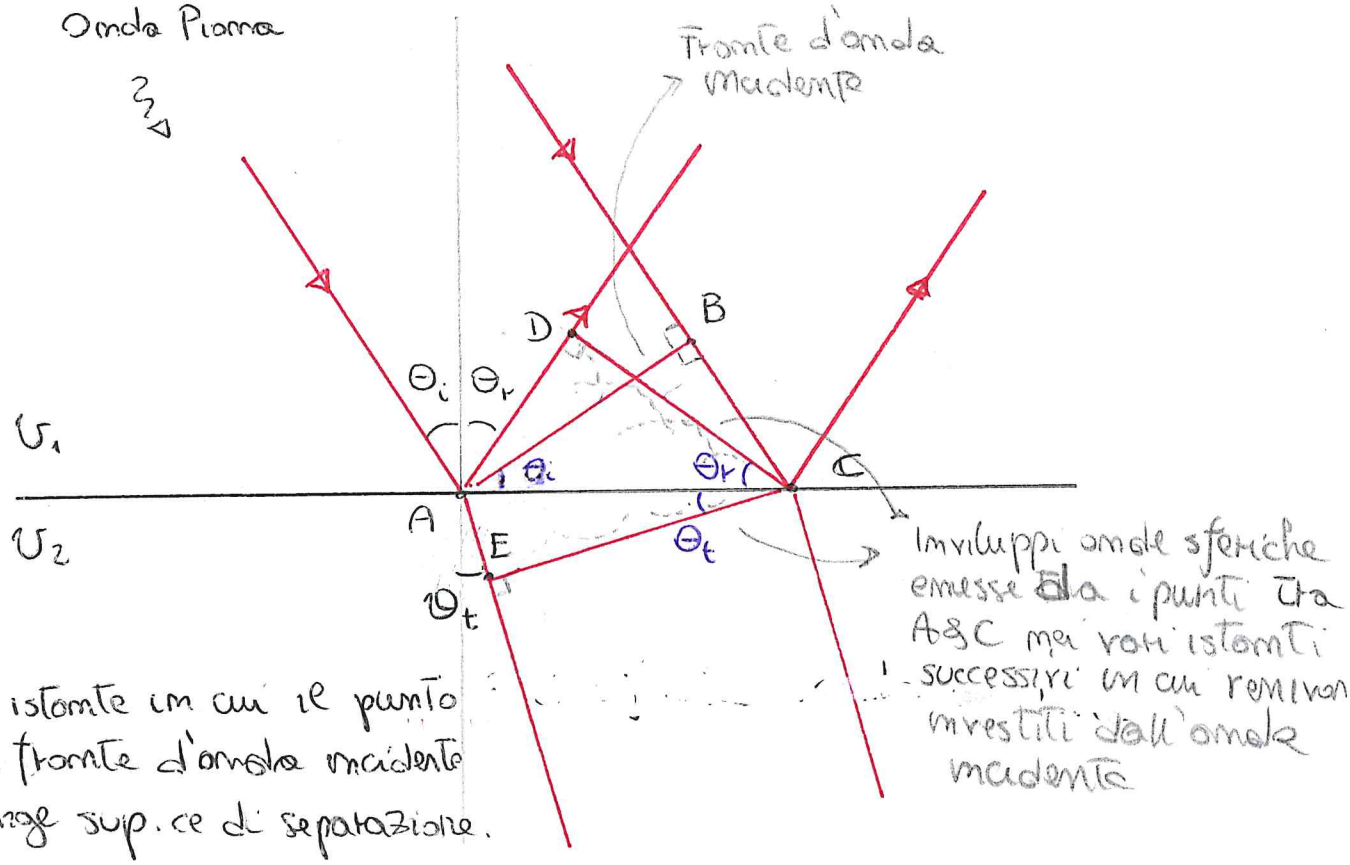


Il fronte d'onda dopo un tempo Δt, si ottiene dall'inviluppo dei fronti d'onda delle sorgenti infinitesime

→ Luogo dei punti di uguale fase

→ Deduzione Leggi Riflessione e Rifrazione

$\therefore \theta_i = \theta_r$ & $n_2 \operatorname{sen}\theta_t = n_1 \operatorname{sen}\theta_i \Rightarrow \frac{\operatorname{sen}\theta_t}{\operatorname{sen}\theta_i} = \frac{v_2}{v_1}$



- $t = 0$ istante in cui il punto A del fronte d'onda incidente raggiunge sup.ce di separazione.
- B raggiunge sup. separazione C dopo $t = \overline{BC}/v_1$
- Nello stesso t l'onda elementare emessa da A compie $\overline{AD} = v_1 t =$ $= v_1 \overline{BC}/v_1 = \overline{BC}$ nel primo mezzo, ⇒ I p.ti D e C sono in fase (appartengo allo stesso fronte d'onda)
- mentre nel secondo mezzo compie il percorso $\overline{AE} = v_2 t = \frac{v_2}{v_1}\overline{BC}$ ⇒ I p.ti E e C sono in fase

⇒ $\hat{ABC} \cong \hat{ACD}$ in quanto rettangoli e con due cateti uguali
⇒ quindi anche angoli al vertice $\theta_i = \theta_r$

⇒ inoltre

$$\operatorname{sen}\theta_i = \frac{BC}{AC} \qquad \operatorname{sen}\theta_i = \frac{AE}{AC} \Rightarrow \frac{\operatorname{sen}\theta_i}{\operatorname{sen}\theta_i} = \frac{BC}{AE} = \frac{t v_1}{t v_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Dispersione Cromatica: $n(\lambda)$

L'indice di rifrazione n in qualsiasi mezzo, eccetto il vuoto, dipende dalla lunghezza d'onda della luce. Quindi, quando un raggio di luce è formato da componenti con lunghezze d'onda differenti – e.g. luce bianca che contiene tutte le lunghezze d'onda del visibile – la rifrazione del raggio alla superficie ne separa le componenti così che esse assumono direzioni diverse. Questo effetto si chiama dispersione cromatica; il termine «cromatico» si riferisce ai colori associati a ogni lunghezza d'onda, e «dispersione» si riferisce alla separazione delle lunghezze d'onda o dei colori.

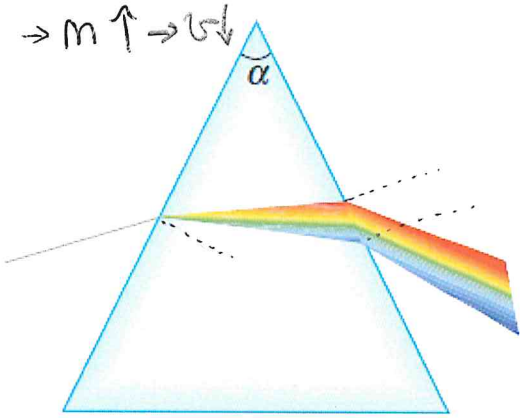
→ per la II legge di Snell

In genere l'indice di rifrazione in un mezzo è maggiore per una lunghezza d'onda minore (corrispondente, per esempio, alla luce blu), di quanto non sia per una lunghezza d'onda maggiore (per esempio, la luce rossa); in particolare l'indice di rifrazione varia con λ secondo la legge di Cauchy:

$\lambda \downarrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow v \downarrow$

$$\Rightarrow n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} .$$

legge di Cauchy



Prisma:

Il dispositivo più importante con cui si mette in evidenza la dispersione è il prisma, costituito da una lastra di materiale trasparente a facce piane formanti un angolo α, detto angolo di apertura del prisma. Nella figura in basso è illustrato il funzionamento: un fascio di luce bianca in aria incide su una superficie di vetro. Nella figura di sinistra sono indicate solo le componenti rossa e blu della luce rifratta. Poiché la componente blu viene deflessa più della rossa, l'angolo di rifrazione $\vartheta_{2,b}$ per il blu è minore dell'angolo $\vartheta_{2,r}$ per il rosso. Si ricordi che gli angoli si misurano rispetto alla normale. Nella figura di destra un raggio di luce bianca che si propaga nel vetro incide sulla superficie di separazione vetro-aria. Anche qui la componente blu viene deviata più di quella rossa, ma ora $\vartheta_{2,b} > \vartheta_{2,r}$. Per esaltare la separazione dei colori, si usa un prisma di vetro con sezione triangolare. La dispersione alla prima superficie (a sinistra nella figura) viene ulteriormente accentuata dalla dispersione sulla seconda. In particolare si dimostra che l'angolo δ tra le direzioni entrante e uscente, detto angolo di deviazione, vale:

→ pag. successiva

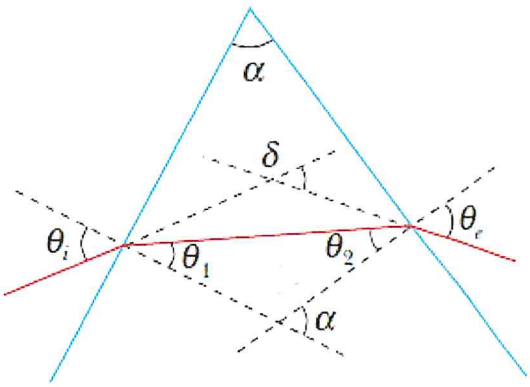
Gita pagina e vedi miei appunti.

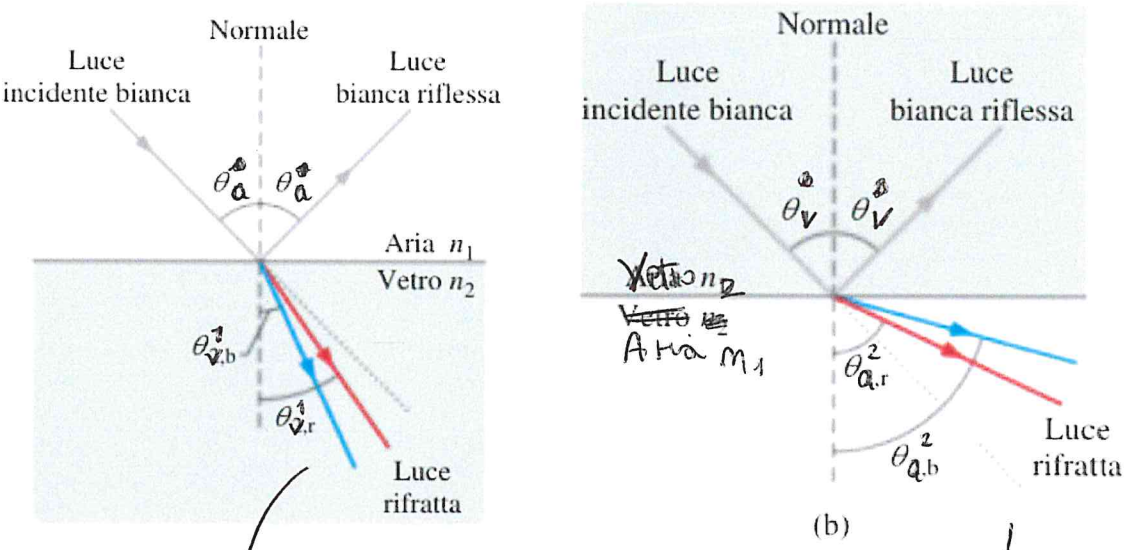
rispetto alla direzione incidente

$$\delta = \theta_i + \theta_e - \alpha .$$

→ apertura prisma

angolo incidenza — angolo emissione





Componente blu Ra → Assumiamo che in aria $n_b = n_r = n_a$

$n_b > n_{rosso}$, quindi viene deviata di più* rispetto direzione originale:

Entrando nel prisma → $\text{Sen}\,\theta^{(1)}_{vb} = \frac{n_a}{n_{vb}}\,\text{Sen}\,\theta^{a}_{a} < \text{Sen}\,\theta^{(1)}_{vr} = \frac{n_a}{n_{vr}}\,\text{Sen}\,\theta^{a}_{a}$ → Angolo di rifrazione $\theta^{1}_{vb} < \theta^{1}_{vr}$

$\frac{n_a}{n_{vb}} < \frac{n_a}{n_{vr}}$

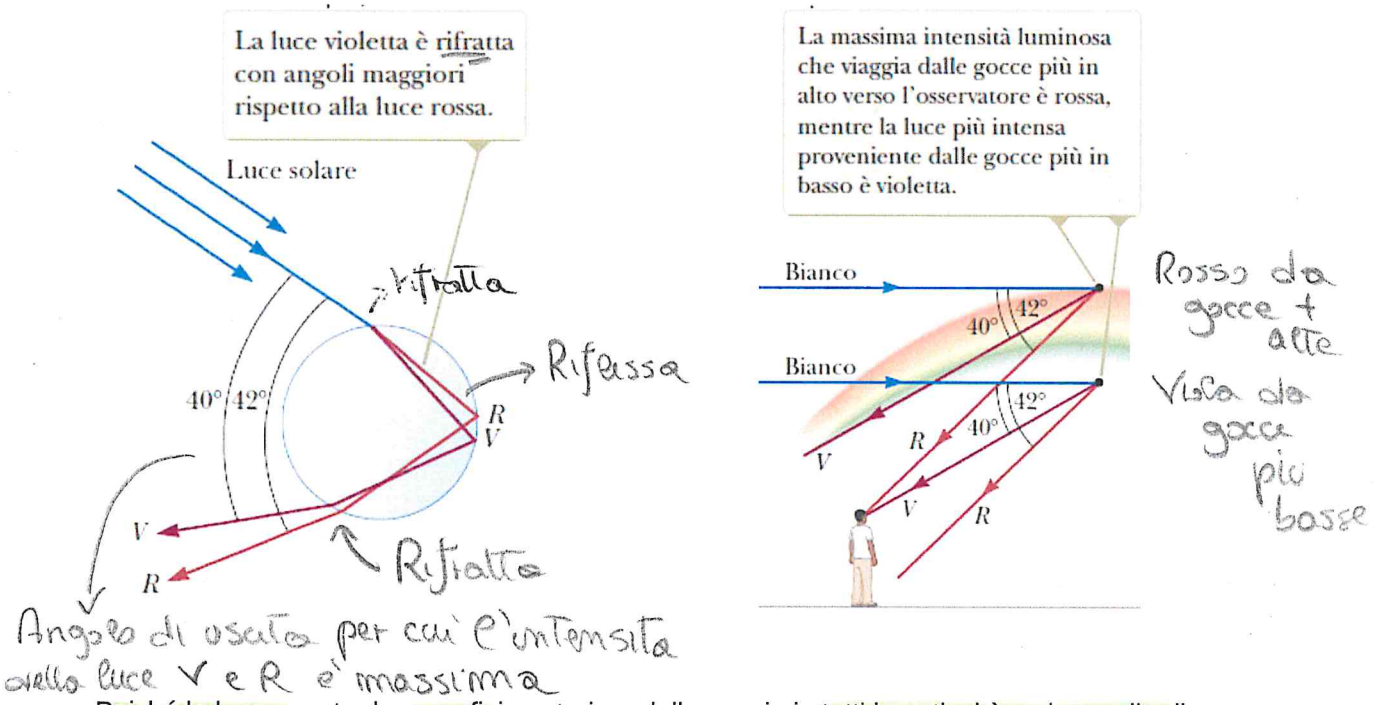
* ricorda è l'angolo è rispetto alla normale alla sup.ce

Uscendo dal prisma → $\text{Sen}\,\theta^{(2)}_{ab} = \frac{n_{vb}}{n_a}\,\text{Sen}\,\theta_v > \text{Sen}\,\theta^{(2)}_{ar} = \frac{n_{vr}}{n_a}\,\text{Sen}\,\theta_v$ → Angolo di rifrazione $\theta^{2}_{ab} > \theta^{2}_{ar}$

$\frac{n_{vb}}{n_a} > \frac{n_{vr}}{n_a}$

Arcobaleno:

La dispersione della luce in uno spettro viene dimostrata vividamente in natura nella formazione di un arcobaleno, spesso visto da un osservatore posto fra il Sole e le gocce di pioggia. Per capire come si forma un arcobaleno, consideriamo la Figura di sinistra. Un raggio di luce colpisce una goccia d'acqua nell'atmosfera e subisce riflessione e rifrazione nel modo seguente. Esso viene prima rifratto dalla superficie anteriore della goccia, con la luce violetta deviata di più e la luce rossa deviata di meno. Sulla superficie posteriore della goccia, la luce viene riflessa e ritorna alla superficie anteriore, dove subisce ancora una rifrazione mentre si muove dall'acqua all'aria.



Poiché la luce penetra la superficie anteriore della goccia in tutti i punti, vi è un intervallo di angoli di uscita per la luce che abbandona la goccia dopo essere stata riflessa dalla superficie posteriore. Un'analisi attenta della forma sferica della goccia d'acqua, tuttavia, mostra che l'angolo di uscita per cui l'intensità è massima è 42° per la luce rossa e 40° per la luce violetta. Quindi, la luce proveniente da una goccia di pioggia vista da un osservatore è più brillante per questi angoli e l'osservatore vede un arcobaleno. La Figura di destra mostra la geometria per l'osservatore. I colori dell'arcobaleno sono visti in un intervallo da 40° a 42° rispetto ad una direzione opposta a quella del Sole, direzione che corrisponde a 180° rispetto ai raggi del Sole. Se si vede arrivare la luce rossa da una goccia di pioggia alta nel cielo, la luce violetta proveniente da questa goccia passa al di sopra della testa dell'osservatore e non si vede. Quindi, la porzione di arcobaleno in vicinanza di questa goccia è rossa. La porzione viola dell'arcobaleno vista da un osservatore è fornita dalle gocce d'acqua più basse nel cielo, che mandano la luce violetta verso gli occhi dell'osservatore e la luce rossa al di sotto degli occhi.

Angolo di Brewster. Polarizzazione per riflessione

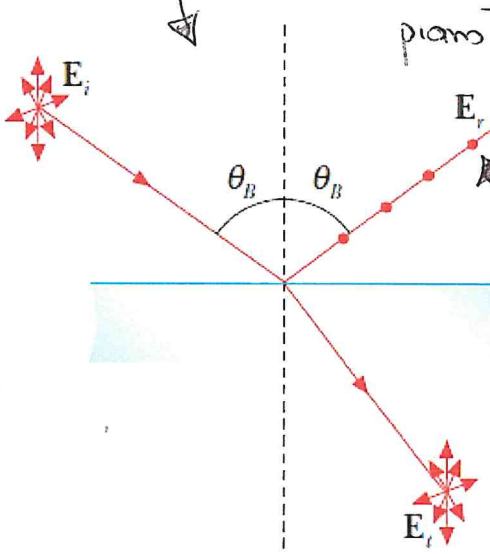
Dalla legge di Snell, e dalla condizione di continuita' dei campi elettrici e magnetici su una superficie di separazione è possibile ricavare l'inensita' dei campi elettrici e magnetici riflessi e rifratti in funzione dell'angolo di incidenza e indice di rifrazione relativo tra i due mezzi. In particolare si dimostra che per un angolo di incidenza $\vartheta=\vartheta_B$, detto *angolo di Brewster,* pari a:

$$\Rightarrow \quad \mathrm{tg}\theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad , \quad \theta_B = \mathrm{arctg}\frac{n_2}{n_1} \, .$$

Angolo di Brewster

la componente dell'onda incidente che vibra nel piano di incidenza – *piano* π, definito dai raggi incidenti, riflessi e rifratti – non viene riflessa ma totalmente trasmessa, mentre la componente che vibra nel piano ortogonale a quello d'incidenza (*piano* σ) viene sia riflessa che rifratta. Di conseguenza nella luce riflessa troviamo solo quest'ultima componente: per $\theta_i = \theta_B$ la luce riflessa è polarizzata linearmente nel piano σ ortogonale a quello di incidenza, qualunque sia lo stato di polarizzazione dell'onda incidente; ovviamente non si ha luce riflessa solo se l'onda incidente è polarizzata rettilineamente lungo il piano π di incidenza. In definitiva, operando in condizioni di Brewster, da un fascio di luce ordinaria non polarizzato, in cui meta' dell'intensità giace sul piano π e meta sul piano σ, derivano un fascio riflesso poco intenso polarizzato rettilineamente e un fascio trasmesso più intenso con basso grado di polarizzazione.

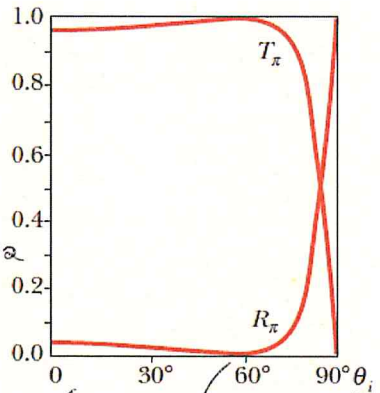
Numericamente, nel caso aria-vetro, $n_1 = 1$ e $n_2 = 1.5$, otteniamo ϑ_B=56.3° , mentre per il caso aria-acqua $n_1 = 1$ e $n_2 = 1.33$, otteniamo ϑ_B=53°.



Solo componente ⊥ al foglio viene riflessa

Onda polarizzata linearmente nel piano σ, ortogonale a quello incidenza

Frazione Potenza Incidente Trasmessa o Riflessa per un'onda piana polarizzata linearmente su π



Angolo incidenza

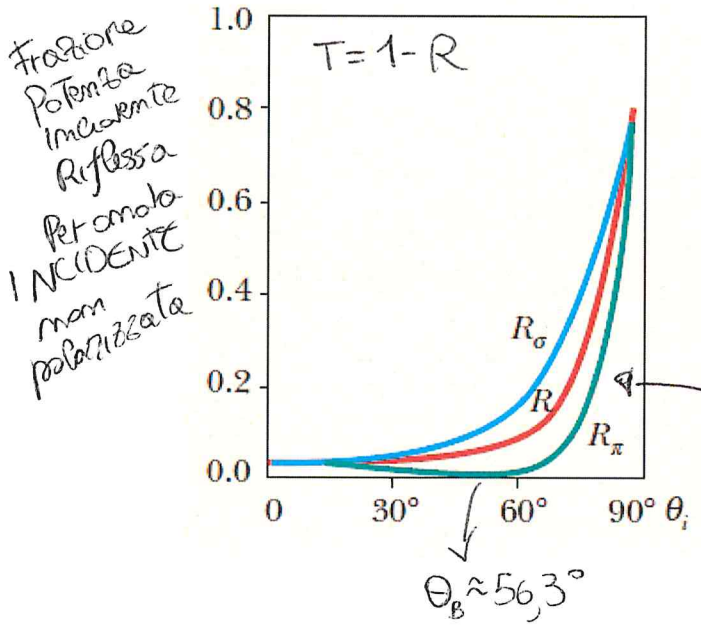
θ_B=56,3°

Tutta Trasmessa

N.B. anche per $\theta < \theta_B$ l'onda è praticamente Tutta Trasmessa

Coefficiente di riflessione e trasmissione, ovvero la frazione di potenza incidente che viene riflessa o trasmessa ($R_{\|pi}$ + $T_{\|pi}$ =1), in funzione dell'angolo di incidenza all'interfaccia aria-vetro per un'onda elettromagnetica piana polarizzata nel piano d'incidenza.

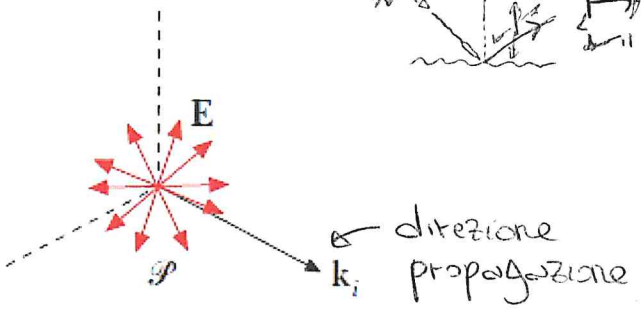
NOTA: Per angoli piccoli, praticamente tutta la potenza dell'onda incidente va nell'onda trasmessa

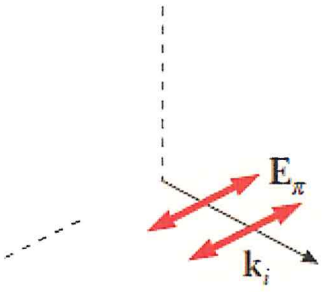


Coefficienti di riflessione di una onda elettromagnetica non polarizzata. Quest'ultima puo' essere decomposta nella sovrapposizione di due onde incoerenti polarizzate su due piani ortogonali (vedi immagine sotto). L'onda riflessa non è polarizzata anche se, essendo R_σ maggiore di R_π ($R = \frac{1}{2}(R_\sigma + R_\pi)$), predomina la componente associata alla vibrazione ortogonale al piano di incidenza.

$R_\sigma > R_\pi \quad \forall \theta_i$

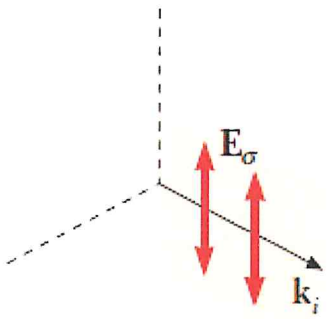
Per ottenere abbagliamento conviene bloccare la componente polarizzata ⊥ al piano di incidenza





$\mathscr{P}/2$

+



$\mathscr{P}/2$

$$R = \frac{R_\sigma + R_\pi}{2}$$

$$R_\pi = \left| \frac{m_2 \cos\theta_i - m_1 \cos\theta_t}{m_2 \cos\theta_i + m_1 \cos\theta_t} \right|^2$$

$$R_\sigma = \left| \frac{m_1 \cos\theta_i - m_2 \cos\theta_t}{m_1 \cos\theta_i + m_2 \cos\theta_t} \right|^2$$