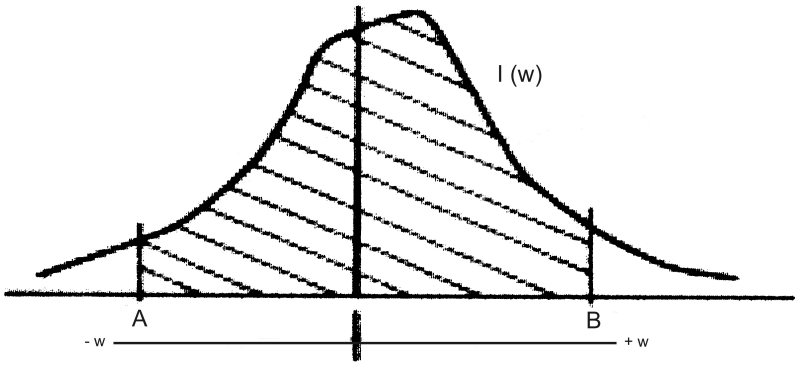
There are no translations available.

F



ig. A4.18 – Energia su ricevitore

Considerando la distribuzione del flusso di energia in funzione della posizione sulla superficie

focale di un collettore cilindrico, come mostrato in figura , si ha che l'area totale della curva

rappresenta l'energia totale riflessa sul piano focale. Se il ricevitore occupa tale zona solo fra il

punto A ed il punto B, esso intercetterà l’energia rappresentata dalla zona tratteggiata.

Il fattore di intercettazione assume l’espressione:

$$S = \frac{\int_{A}^{B} I(w)\,dw}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(w)\,dw}$$

Dove w è la distanza dal centro della zona focale.

Le prestazioni ottimali di un sistema si ottengono normalmente con un fattore di intercettazione

minore di uno. In generale le dimensioni ottimali del ricevitore corrispondono alla massima

energia utile raccolta e si calcolano minimizzando la somma delle perdite termiche ed ottiche;

un ricevitore grande comporta elevate perdite termiche e basse perdite ottiche, mentre a un

ricevitore piccolo corrispondono perdite termiche minori ma più elevate perdite ottiche a causa

di un più basso coefficiente S.

Nel computo del fattore S entrano essenzialmente le perdite di energia per i seguenti motivi:

1.

Errori ed irregolarità locali della superficie del riflettore sotto forma, da una parte, di

microirregolarità di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda della radiazione (presenza di

riflessione diffusa oltre alla speculare), e dall'altra, sotto forma di piani infinitesimi locali con

normale non coincidente con quella attesa teoricamente (presenza di riflessione speculare fuori

bersaglio).

2.

Errori macroscopici di forma e quindi distorsione dell’immagine.

3.

Errori di posizionamento del riflettore rispetto al ricevitore

4.

Errori di orientamento e di inseguimento solare del riflettore

La dispersione conseguente agli errori di cui al punto 1 si valutano attraverso un angolo θ_{eff} di

maggiore apertura del fascio teorico perfettamente collimato. Tale angolo, che porta il fascio ad

avere una apertura maggiore del teorico (2 x 0,27°) aumenta le dimensioni dell'immagine in

maniera proporzionale al raggio dello specchio ed alla distanza focale.

La presenza degli errori dovuti a diffusività locale e difformità dalla retta normale ideale,

uniformemente distribuiti su tutta la superficie dello specchio, sono da ritenersi di natura

puramente casuale e modellabili statisticamente con una distribuzione gaussuana dell'errore

=

eff

-

teor

inteso come differenza fra l’angolo di riflessione reale e l’angolo teorico (2 x 0,27°).

La densità di probabilità in funzione dell'errore , è pertanto:

$$\frac{dP}{d\theta} = \frac{\theta}{\sigma^2} e^{-\theta^2/2\sigma^2}$$

dove è la deviazione standard, indicatrice della bontà dello specchio, avendosi normalmente:

- fino a 0,2 mrad (0,0115°) per superfici specchianti ottime

- oltre 0,2 mrad e fino anche 8 mrad (0,45°) per superfici di media o cattiva qualità

Gli errori più significativi sono comunque legati ad errori macroscopici di forma e di

posizionamento reciproco riflettore/ricevitore. Se si suppone che anche questi ultimi errori siano

casuali, ipotizzando una distribuzione normale di Gauss sul piano focale, della radiazione

incidente, si trova che il fattore S (omnicomprensivo di tutti gli errori sopra elencati) è

proporzionale al rapporto r/R fra la distanza del punto generico del ricevitore dall'asse focale e

la grandezza R intesa come distanza fra punto del riflettore e fuoco, cioè indicatrice

dell'ampiezza della parabola.

In formula:

$$S = 1 - e^{-h^2 \left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

h è il coefficiente di distribuzione normale del flusso sul piano focale.

Il fattore S tende ad 1 per dimensioni notevoli del ricevitore , r, oppure per parabole di piccola

apertura R.

I valori normalmente ammessi per l’errore dell’angolo di riflessione, per i concentratori

parabolici, non superano 0,1 – 0,2° portando complessivamente il fattore S ad essere prossimo

a 0,95 – 0,97 compresi anche gli effetti legati all'ultima delle quattro cause analizzate: errori di

orientamento ed inseguimento solare.

TRASMITTANZA DELLA COPERTURA DEL RICEVITORE [7]

La trasmittanza dell'eventuale rivestimento in vetro del ricevitore, se presente, riduce ulteriormente l'energia disponibile.

I parametri in gioco sono:

-

n indice di rifrazione [8]

-

K fattore di estinzione

Ambedue questi fattori sono, per ogni materiale trasparente, funzione della lunghezza d'onda dell'energia incidente.

Trascurando per il momento la variabilità dei citati parametri ottici con la lunghezza d'onda, dalla relazione di Fresnel [1] che descrive la riflessione di una radiazione non polarizzata quando essa passa da un mezzo con indice di rifrazione relativa n all'aria (od al

vuoto), e dalla legge di Snell che lega gli angoli di incidenza e rifrazione, per il materiale trasparente di rivestimento del ricevitore si ha un coefficiente di riflettanza dato dalla formula:

$$\rho = \frac{I_r}{I_o} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

Il coefficiente di riflettanza ρ, per ogni interfaccia di separazione vetro/aria o vetro/vuoto, rappresenta la quota di energia riflessa dalla superficie. Considerando le due interfacce della copertura, e tralasciando per il momento i fenomeni di assorbimento, la trasmittanza (parziale, considerando le sole perdite per riflessioni interne ed esterne) è:

$$\tau_r = (1-\rho)^2 \sum_0^\infty \rho^{2n} = \frac{(1-\rho)^2}{1-\rho^2} = \frac{1-\rho}{1+\rho}$$

Se si considera infine l'assorbimento dell'energia nell'attraversamento dello spessore di vetro della copertura, dalla legge di Bouger si ha:

$$\tau_a = \frac{I_L}{I_o} = e^{-KL}$$

dove K è il coefficiente di estinzione (m^{-1}) ed L è la lunghezza del percorso (m).

Per tener conto di entrambi i fenomeni (riflessioni multiple ed assorbimento) una serie di formule valevoli nel caso di KL piccolo (τ_a prossimo ad uno) sono semplicemente le seguenti:

Trasmittanza totale $\tau = \tau_a \tau_r$

Riflettanza totale $R = \tau_a (1 - \tau_r)$

Assorbimento: $\alpha = 1 - \tau_a$

Le equazioni precedenti sono una accettabile semplificazione delle equazioni rigorose (dette di Stokes) che da considerazioni matematiche restituiscono i tre parametri τ, R, ed α sia per la componente parallela che per quella normale di una radiazione non polarizzata incidente su una lastra di vetro, caratterizzata da spessore, coefficiente di estinzione ed indice di rifrazione ... dei ricevitori è un vetro al borosilicato commercialmente noto con il nome di PYREX (o DURAN od ancora KIMAX). Le sue caratteristiche sono:

SiO_2 81%

Na_2O 4 – 4,5%

Al_2O_3 2 – 2,5%

B_2O_3 12 – 13%

Coefficiente di dilatazione: 33 10^{-7}/°C

Temperatura di esercizio: ... 500 °C

Calore specifico ... a 20 °C

Indice di rifrazione (media da 0,4 a 2,3 μ): 1,511

Indice di riflessione (media da 0,4 a 2,3 μ): 0,0414

Indice di trasmittanza (media da 0,4 a 2,3 μ): 0,9973 (con spessore 3 mm)

Coefficiente di estinzione (media da 0,4 a 2,3 μ) ...

(il coef. di estinzione di un normale vetro chiaro è > di 30 m^{-1})

Gli spessori impiegati per applicazioni su collettori parabolici lineari si aggirano su 3 millimetri. Le superfici sono generalmente trattate con opportuni strati antiriflesso che, nel campo dello spettro solare, riducono la riflessione dal valore nominale del citato 4% a valori trascurabilmente inferiori all' 1%.

Dato che la riflessione aumenta all'aumentare del rapporto n_2/n_1 dei due indici assoluti di rifrazione dei materiali a contatto, uno strato antiriflettente (AR) dovrà avere un indice assoluto di rifrazione n_{AR} tale da poter minimizzare contemporaneamente il rapporto n_{AR}/n_1 ed il rapporto n_2/n_{AR}. Con un solo strato antiriflettente si ha il valore ottimale di

$$n_{AR} = \sqrt{n_2}$$

essendo il materiale 1 aria (n_1 = 1) ed il materiale 2 vetro. [11]

Nel calcolo delle caratteristiche ottiche bisogna tener conto che esse, nella realtà, dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione, per cui, per esempio, il coefficiente di trasmittanza τ della radiazione diretta su un materiale trasparente è più precisamente definibile dalla:

$$\tau = \frac{\int_0^\infty G(\lambda)\,\tau(\lambda)\,d\lambda}{\int_0^\infty G(\lambda)\,d\lambda}$$

Dove G(λ) è l'irraggiamento monocromatico incidente e $\tau(\lambda)$ il coefficiente di trasmissione monocromatico.

Nell'andamento di $\tau(\lambda)$ influisce notevolmente la variazione dell'indice di rifrazione (e quindi di riflessione) del vetro in funzione della lunghezza d'onda, mentre è trascurabile la variazione del coefficiente di estinzione (K) che, per esempio nel caso di un vetro PYREX, nel campo delle lunghezze d'onda 0,3 - 2,7 μ, si mantiene costantemente < 10 m^{-1}.

Nelle figure seguenti sono riportati alcuni dati relativi al vetro PYREX "BSC517642B" commercializato dalla ditta Pilkington [*]. Essi sono relativi al campo dello spettro solare e, per la trasmittanza τ (quota conseguente alla sola estinzione) è stato assunto uno spessore di 3 mm e nessun trattamento antiriflesso

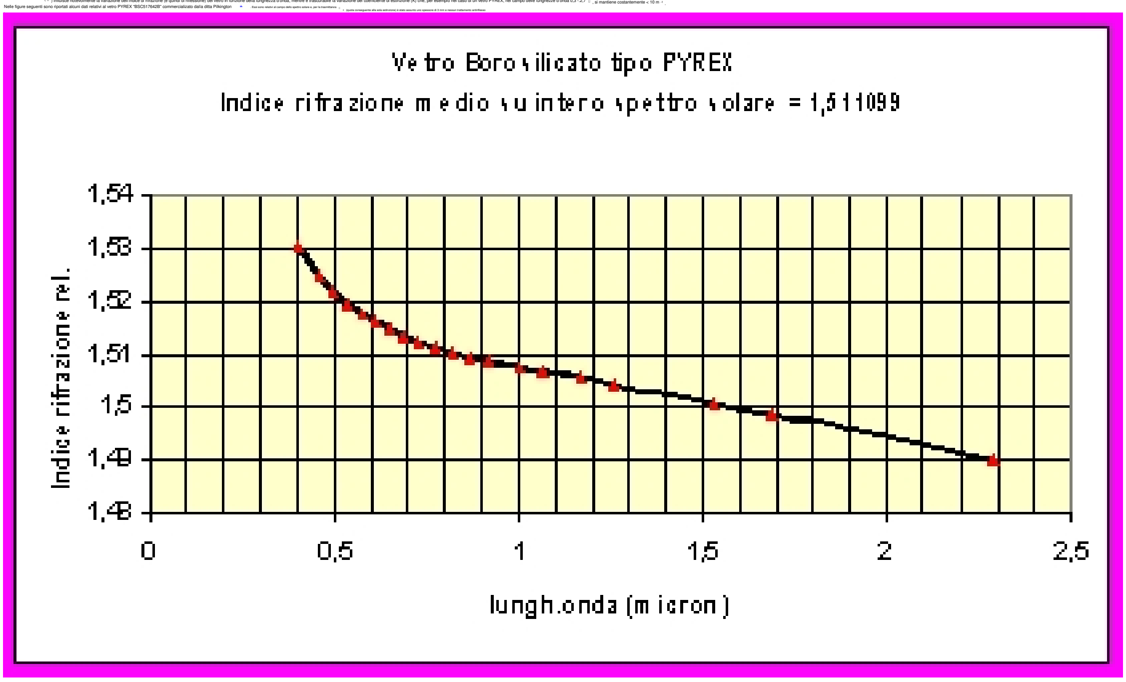
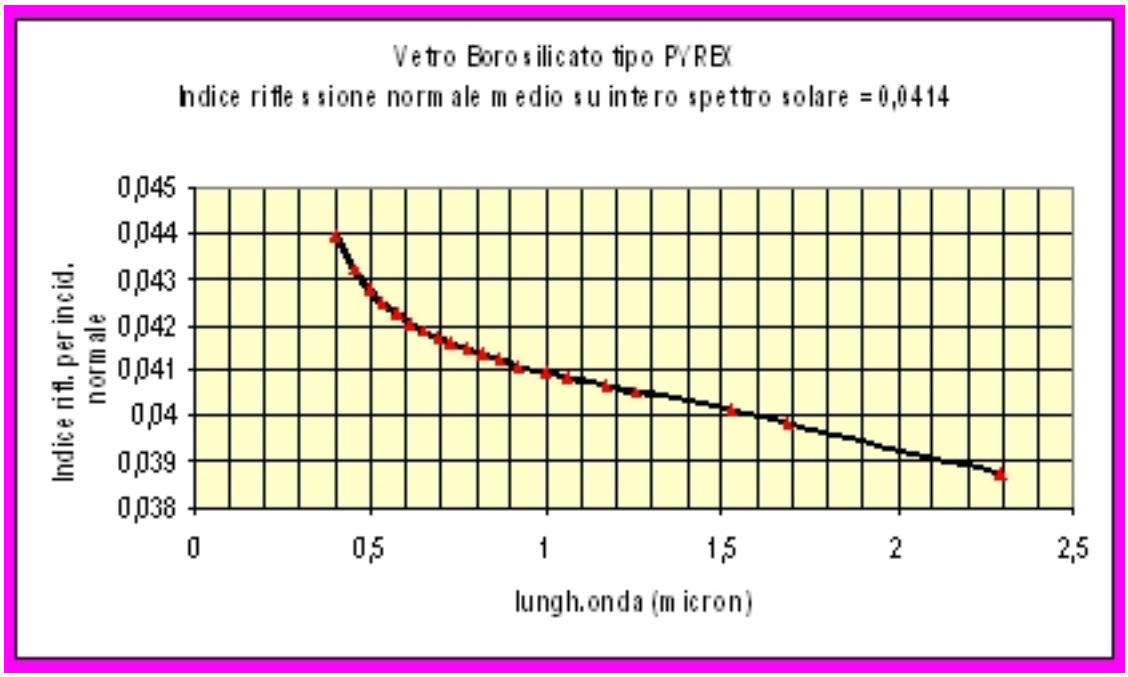
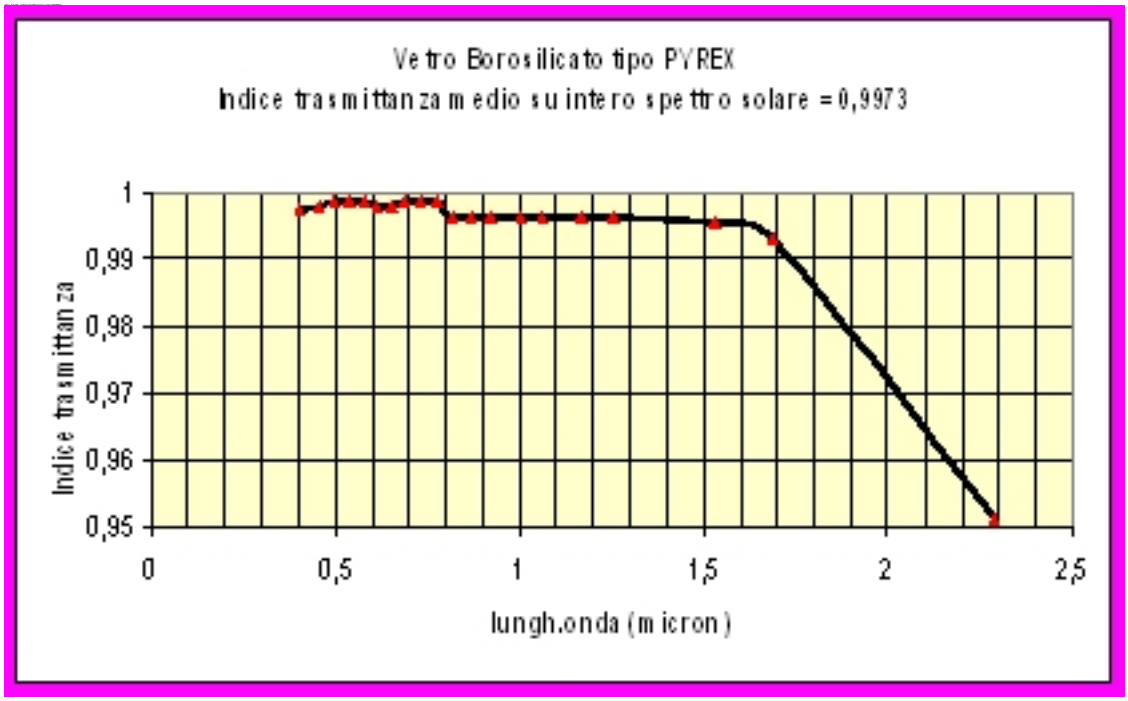
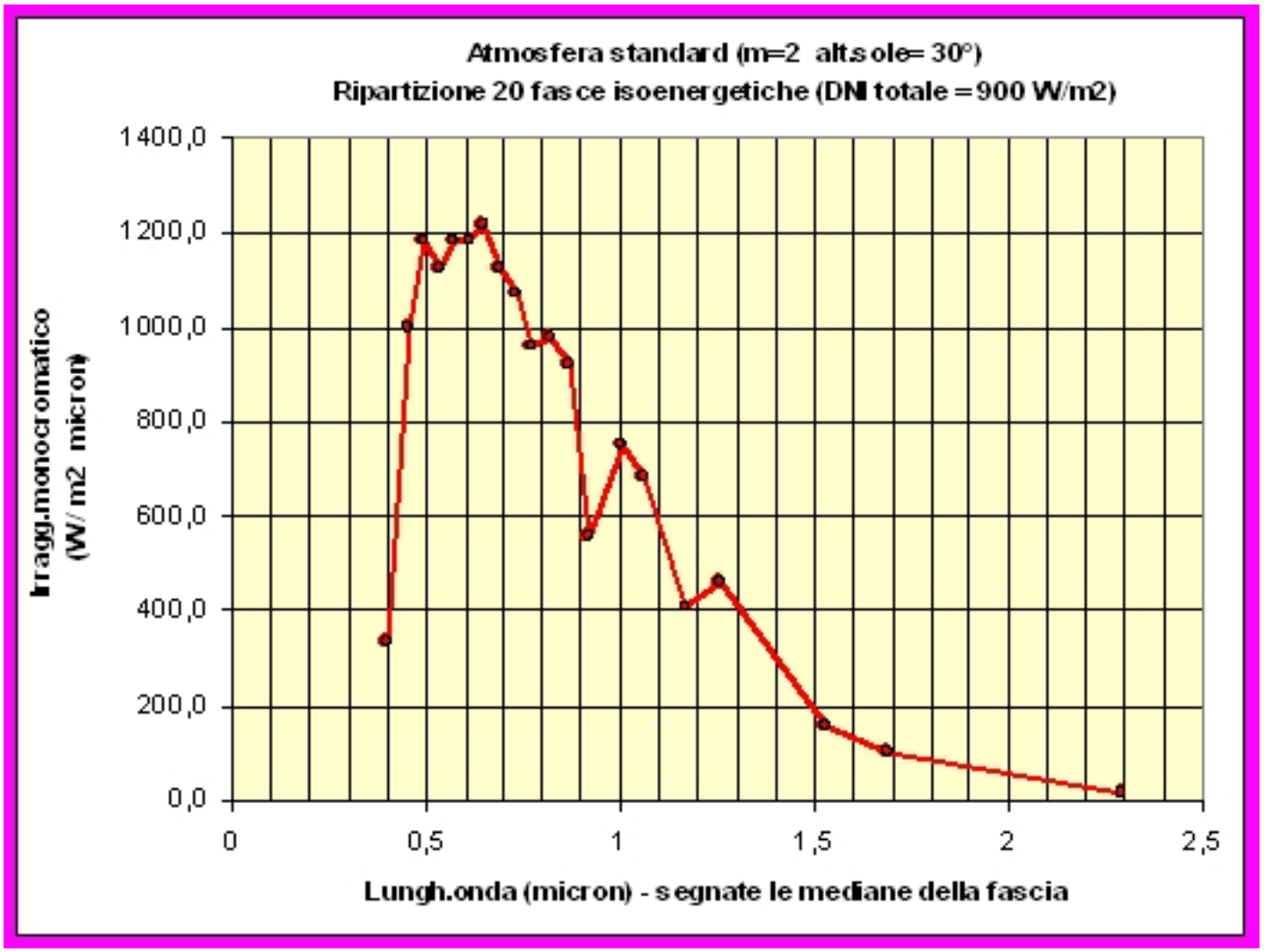
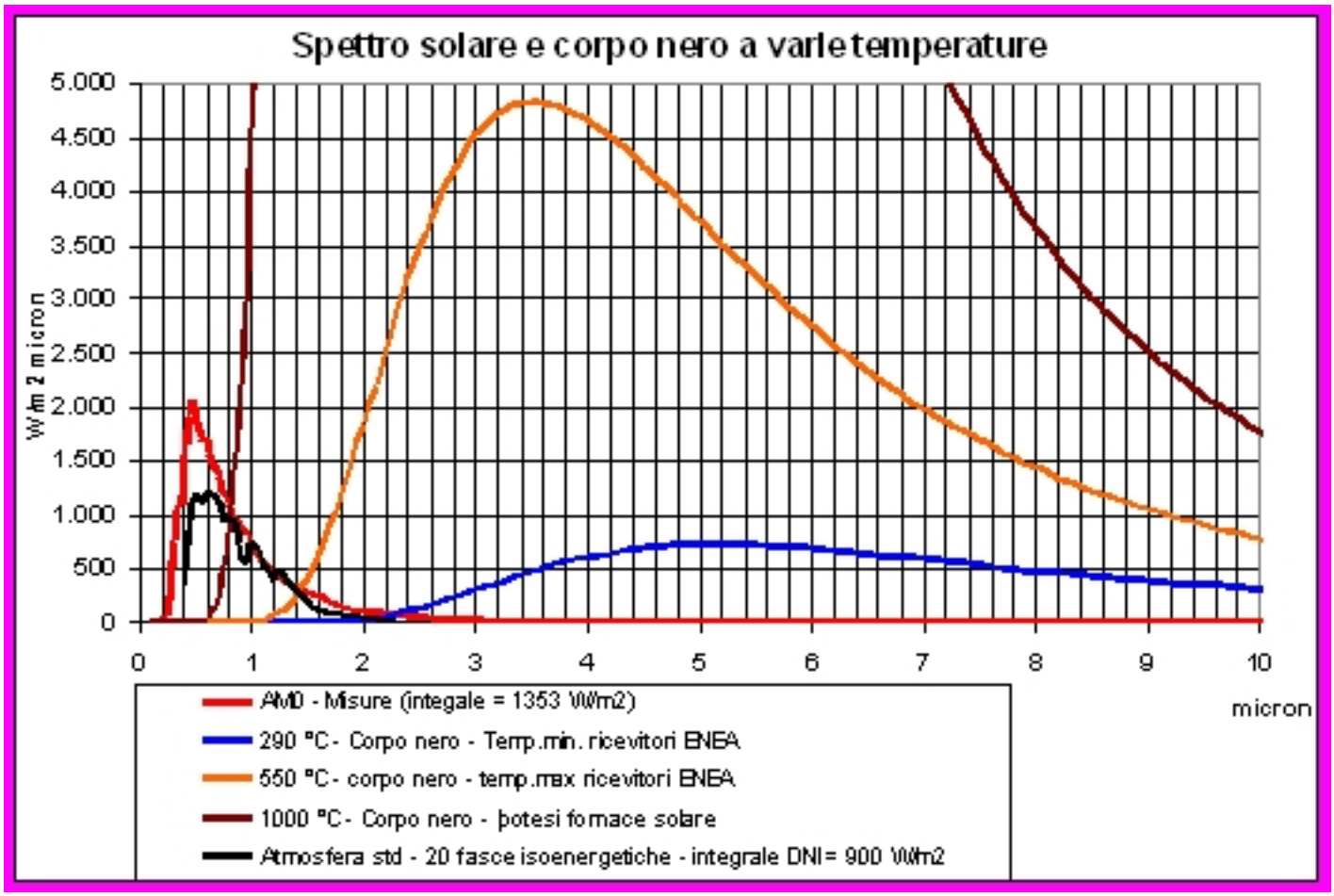


Fig. A4.19 – Indice di rifrazione vetro PYREX


Vetro Borosilicato tipo PYREX
Indice riflessione normale medio su intero spettro solare = 0,0414
Indice rifl. per incid. normale
0,045
0,044
0,043
0,042
0,041
0,04
0,039
0,038
0
0,5
1
1,5
2
2,5
lungh.onda (micron)


Vetro Borosilicato tipo PYREX
Indice trasmittanza medio su intero spettro solare = 0,9973
Indice trasmittanza
1
0,99
0,98
0,97
0,96
0,95
0
0,5
1
1,5
2
2,5
lungh.onda (micron)


Atmosfera standard (m=2 alt.sole= 30°)
Ripartizione 20 fasce isoenergetiche (DNI totale = 900 W/m2)
Irragg.monocromatico (W/ m2 micron)
1400,0
1200,0
1000,0
800,0
600,0
400,0
200,0
0,0
0
0,5
1
1,5
2
2,5
Lungh.onda (micron) - segnate le mediane della fascia


Spettro solare e corpo nero a varie temperature
W/m 2 micron
5.000
4.500
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
micron
AM0 - Misure (integale = 1353 W/m2)
290 °C - Corpo nero - Temp.min. ricevitori ENEA
550 °C - corpo nero - temp.max ricevitori ENEA
1000 °C - Corpo nero - ipotesi fornace solare
Atmosfera std - 20 fasce isoenergetiche - integrale DNI = 900 W/m2