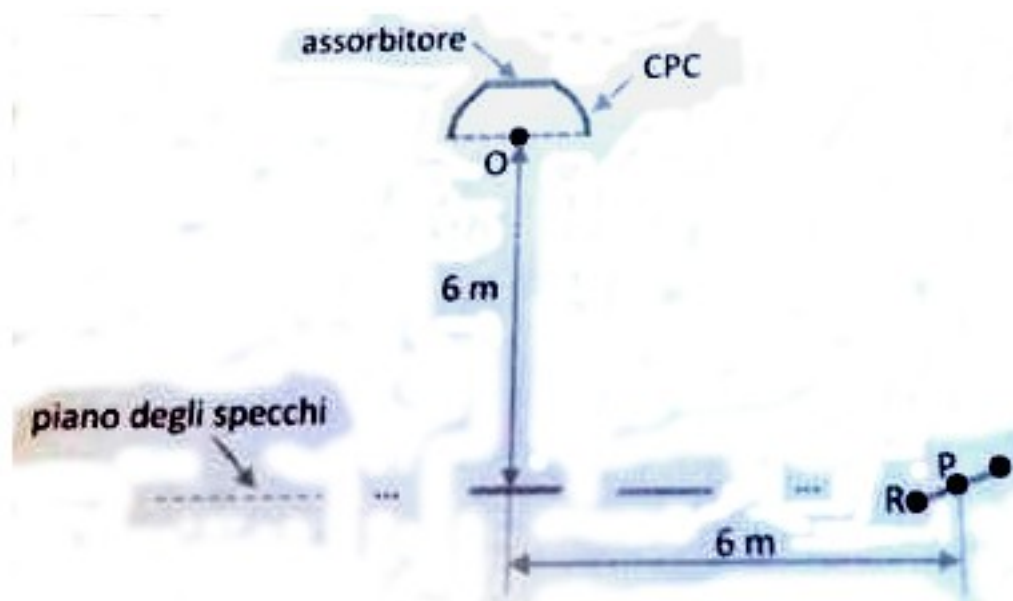


## Esame di Ingegneria dei Processi Solari Termici

06/02/2014

1. Impostare il modello termico di un collettore piano per il calcolo analitico del valore  $U_L$ . Il collettore è dotato di lastra assorbente ( $\epsilon_p = 0,15$ ) e copertura trasparente ( $\epsilon_c = 0,88$ ). Uno strato di materiale isolante è interposto tra lastra assorbente e il terreno con il quale il collettore è in contatto. Si assuma:  $Nu = h \cdot d/k = 2$  e distanza  $d=25$  mm tra lastra assorbente e copertura; conducibilità termica dell'aria  $k = 0,029$  W/mK; coefficiente convettivo  $h = 10$  W/m<sup>2</sup>K tra copertura e aria ambiente; conducibilità termica e spessore dell'isolante verso il terreno pari rispettivamente a 0,040 W/mK e 40 mm; trascurabile la differenza tra temperatura del cielo, temperatura dell'aria e temperatura del terreno; costante di Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>, solamente ai fini del calcolo dei coefficienti di scambio radiativo, temperature approssimative di lastra assorbente, copertura e ambiente rispettivamente pari a 70, 50 e 10°C.
2. Un riflettore Fresnel a fuoco lineare è costituito da specchi piani larghi 50 cm i cui assi di rotazione, tra loro paralleli, sono disposti in modo tale che l'interasse tra due specchi adiacenti sia 60 cm. Il ricevitore è costituito da un assorbitore piano di larghezza 50 cm, dotato di un riflettore secondario CPC completo il cui fattore di concentrazione geometrico è pari a  $\sqrt{2}$ . la superficie di apertura del riflettore secondario è posta a un'altezza di 6 m dal piano degli specchi. Calcolare il fattore di intercetta locale (\*) relativo al punto P raffigurato in figura, posto a una distanza di 6 m dal piano di simmetria del collettore. Si assuma che: gli specchi siano inclinati in modo tale che la riflessione del vettore solare nel punto medio di ciascuno specchio raggiunga il punto O, il vettore solare sia perpendicolare al piano degli specchi, e il cono solare abbia intensità uniforme con semi apertura 20 mrad. Nelle medesime condizioni, ripetere il calcolo del fattore di intercetta locale per il punto R.



(\*) Per fattore di intercetta locale si intende la definizione di fattore di intercetta applicata alla radiazione riflessa nell'intorno di un punto del riflettore.

I tempi indicativi per ciascun quesito, comprensivi del tempo di trascrizione in bella copia, sono 1) 60 min, 2) 60 min. Si assumano valori sensati per eventuali dati mancanti.

### ES1

Il modello termico di un collettore piano per il calcolo analitico del valore  $U_L$  si può impostare creando uno schema seguendo l'analogia elettrica calcolandosi le relative resistenze elettriche. In particolare possiamo identificare:

- Una resistenza al flusso radiativo tra copertura e cielo
- Una resistenza al flusso convettivo tra copertura e ambiente
- Una resistenza al flusso radiativo tra lastra assorbente e copertura
- Una resistenza al flusso convettivo tra lastra assorbente e copertura
- Una resistenza al flusso conduttivo tra lastra assorbente e ambiente tramite l'isolante termico

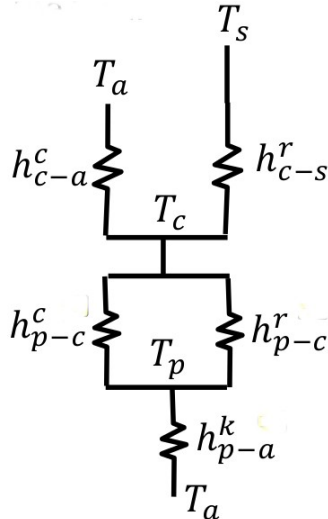


Fig.1

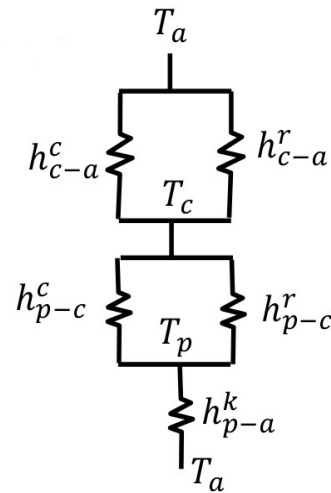


Fig.2

Possiamo dunque schematizzare il sistema come in fig.1 (dove sono trascritte le trasmittanze  $h$  e non le resistenze che sono  $1/h$ ). Poiché è trascurabile la differenza tra temperatura del cielo, temperatura dell'aria e temperatura del terreno, si può assumere che  $T_s = T_a$  e quindi lo schema si può modificare (fig.2)

Calcoliamo le varie  $h$ :

$$h_{c-a}^r = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) = 0,885,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} (323^2 + 283^2)(323 + 283) K^3 = 5,576 \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_{p-c}^r = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1 - \varepsilon_p}{\varepsilon_p} + 1 + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c}} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} (343^2 + 323^2)(343 + 323) K^3}{\frac{1 - 0,15}{0,15} + 1 + \frac{1 - 0,88}{0,88}} = 1,232 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Nu = h_{p-c}^{Conv} \frac{d}{k} \Rightarrow h_{p-c}^{Conv} = Nu \frac{k}{d} = 2 \frac{0,029 \frac{W}{mK}}{0,025 m} = 2,32 \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_{c-a}^{Conv} = 10 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{da testo})$$

$$h_{iso}^{cond} = \frac{k_{iso}}{s_{iso}} = \frac{0,040 \frac{W}{mK}}{0,040 m} = 1 \frac{W}{m^2 K}$$

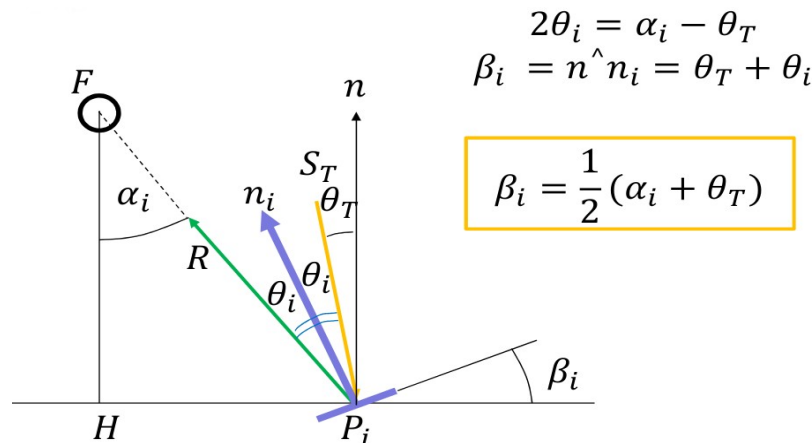
Utilizzando l'analogia elettrica troviamo la trasmittanza equivalente del circuito, si ottiene:

$$U_L = h_{iso}^{cond} + \frac{1}{\frac{1}{h_{c-a}^{conv}} + \frac{1}{h_{c-a}^r}} + \frac{1}{\frac{1}{h_{p-c}^{conv}} + \frac{1}{h_{p-c}^r}} = 1 + \frac{1}{\frac{1}{10 + 5,576} + \frac{1}{2,32 + 1,232}} = 3,892 \frac{W}{m^2 K}$$

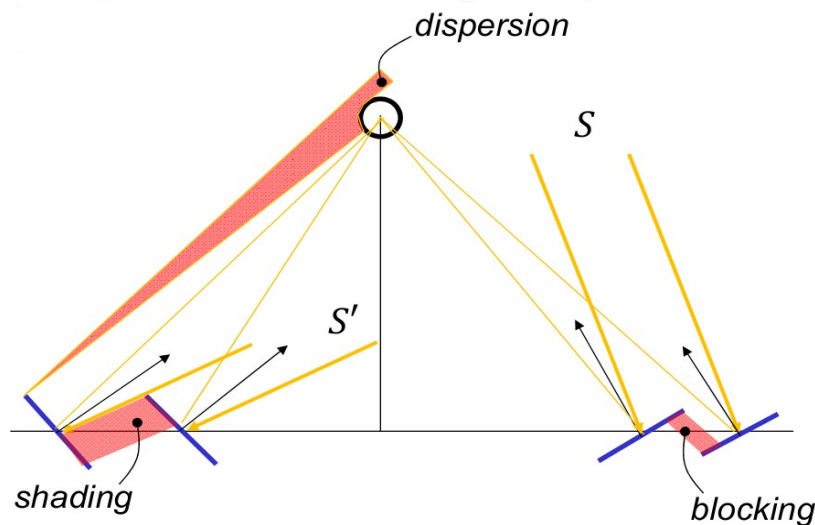
## ES 2

Per prima cosa calcoliamo l'inclinazione  $\beta_i$ . Risulta evidente che, essendo gli specchi inclinati in modo tale che la riflessione del vettore solare nel punto medio di ciascuno specchio raggiunga il punto O, essendo inoltre il riflettore considerato posto a una distanza di 6 m dal piano di simmetria del collettore e l'apertura del ricevitore a 6 m dal piano degli specchi, l'angolo  $\alpha_i$  sarà pari a  $45^\circ$ . Poiché il vettore solare è perpendicolare al piano degli specchi ( $\theta_T = 0^\circ$ ) allora

$$\beta_i = \frac{1}{2}(\alpha_i + \theta_T) = \frac{1}{2}(45^\circ + 0^\circ) = 22,5^\circ$$



Ora bisogna valutare quanta parte di radiazione è raccolta dall'assorbitore, calcolando l'influenza della dispersione del cono solare, dello shading e del blocking della radiazione. Possiamo innanzitutto escludere lo shading visto che la radiazione è perpendicolare al piano degli specchi e gli specchi sono distanziati tra loro di 10 cm.



Analizziamo il blocking. Il punto medio del riflettore a sinistra del riflettore considerato (chiamato P') si trova a 60 cm da P. Se calcoliamo dunque la sua l'inclinazione  $\beta'_i$  (essendo gli specchi inclinati in modo tale che la riflessione del vettore solare nel punto medio di ciascuno specchio raggiunga il punto O), il riflettore posto a una distanza di 5,4 m dal piano di simmetria del collettore e l'apertura del ricevitore a 6 m dal piano degli specchi, l'angolo  $\alpha'_i$  sarà pari a

$$\alpha'_i = \text{artan}\left(\frac{5,4}{6}\right) = 42^\circ$$

Poiché il vettore solare è perpendicolare al piano degli specchi ( $\theta_T = 0^\circ$ ) allora

$$\beta'_i = \frac{1}{2}(\alpha'_i + \theta_T) = \frac{1}{2}(41,99^\circ + 0^\circ) = 21^\circ$$

Se consideriamo il punto P, ci aspettiamo che non vi sia blocking. Per esserne sicuri verichiamo che la parte di radiazione solare con semiapertura del cono solare riflessa con angolo maggiore di  $45^\circ$  rispetto alla perpendicolare ( $20 \text{ mrad} = 1,146^\circ$  quindi massimo  $\theta = 47,146^\circ$ ) non sia bloccata

dallo specchio adiacente. Il margine dello specchio adiacente (indicato Q') si trova a

$$x_{Q'} = 5,4 m + 0,25 m \cos \beta'_i = 5,633 m$$

dal piano di simmetria degli specchi e a

$$y_{Q'} = 0,25 \text{ sen } \beta'_i = 0,090 m$$

dal piano degli specchi. La radiazione del punto P per  $x_{Q'} = 5,633 m$  si trova a

$$y_{P(x_{Q'})} = \frac{6 - 5,633 m}{\tan(46,146^\circ)} = 0,333 m$$

Si ha dunque che  $y_P > y_{Q'}$  e quindi non si ha blocking per il punto P.

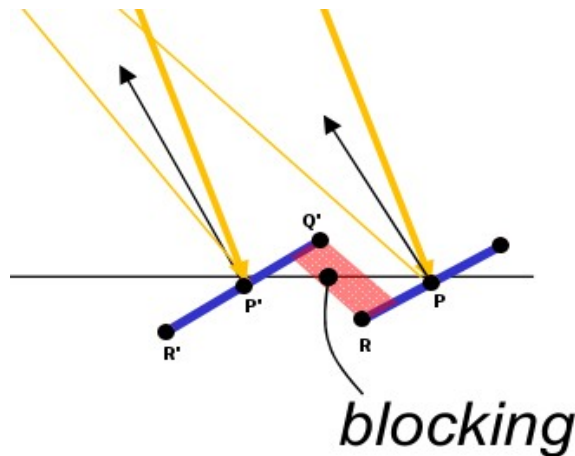
Per il punto R ci aspettiamo che si abbia blocking. Calcoliamo dunque cosa succede nella condizione di radiazione riflessa dal punto R con minore angolo  $\alpha = 45^\circ - 1,146^\circ = 43,854^\circ$ . Si ha che

$$x_R = 6 m - 0,25 \cos \beta_i = 5,76 m \quad y_R = -0,25 \text{ sen } \beta_i = -0,096 m$$

E se troviamo a che altezza si trova il raggio con  $\alpha = 43,854^\circ$  quando è a  $x_Q$

$$y_{P(x_Q)} = \frac{5,76 - 5,633 m}{\tan(43,854^\circ)} - 0,096 m = 0,036 m < 0,090 m = y_{Q'}$$

Quindi ne consegue che in R tutta la radiazione è bloccata dallo specchio successivo, quindi il  $\gamma_R = 0$ .



Passiamo quindi a calcolare il  $\gamma_P$ . Calcoliamo se la radiazione è dispersa a causa del cono solare. Poiché il rapporto di concentrazione geometrico è  $C_r = \sqrt{2}$  allora

$$\frac{A_{\text{apertura}}}{A_{\text{assorbitore}}} = \frac{L a_{\text{apertura}}}{L a_{\text{assorbitore}}} = \sqrt{2} \Rightarrow a_{\text{apertura}} = \sqrt{2} a_{\text{assorbitore}} = 70,71 \text{ cm}$$

Poiché  $a_{\text{apertura}}/2 = 35,36 \text{ cm}$ , si ha che l'apertura è da  $-35,36 \text{ cm}$  a  $+35,36 \text{ cm}$ .

Dal punto P la radiazione parte con una semi apertura solare di  $1,146^\circ$  rispetto a  $45^\circ$ . Ciò vuol dire che a  $6 m$  di altezza arriverà una radiazione aperta da  $x_{47^\circ}$  a  $x_{43^\circ}$ . Possiamo dunque calcolare questi valori

$$x_{47^\circ} = 6 m \tan(46,146^\circ) - 6 m = 0,245 m < 0,3536 m$$

$$x_{43^\circ} = 6 m \tan(43,854^\circ) - 6 m = -0,235 m > -0,3536 m$$

Quindi tutta la radiazione riflessa entra completamente nell'apertura del CPC.

Si deve tenere conto inoltre che il CPC ha un angolo massimo di accettazione (rispetto all'asse di simmetria del CPC) oltre il quale la radiazione entrante nell'apertura non viene assorbita dall'assorbitore. Si ha che

$$C_r = \frac{1}{\text{sen } \theta_{\text{max}}} \Rightarrow \theta_{\text{max}} = \text{arsen}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 45^\circ$$

Quindi in ogni caso tutta la radiazione oltre i  $45^\circ$  (cioè la parte sinistra della radiazione in fig) viene persa mentre il resto viene intercettata e assorbita dall'assorbitore. Quindi  $\gamma_P = 0,5$ .