



V Convegno nazionale  
*Il Controllo degli Agenti fisici: ambiente, salute e qualità della vita*  
Novara – 6-8 giugno 2012

## **Caratterizzazione di radiometri ultravioletti solari a banda larga presso il Laboratorio di Ottica dell'ARPA Piemonte e interconfronto con altri laboratori europei**

*Stefania Facta*

*S.Saudino Fusette, A.Bonino, E.Diemoz, L.Anglesio, G.d'Amore, J.Grobner*

ARPA Piemonte, Dipartimento Tematico Radiazioni

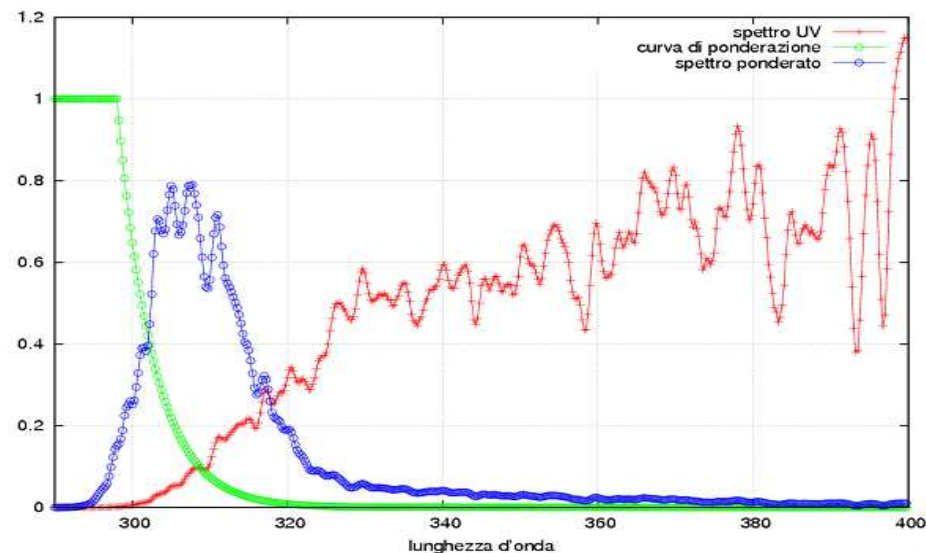


## RADIAZIONE UV SOLARE

**Grandezza di riferimento in  
relazione al rischio sanitario**

$$E_{eff} = \sum_{250nm}^{400nm} S_{\lambda} E_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$UV_{INDEX} = E_{eff} (W / m^2) / 0.025 (W / m^2)$$

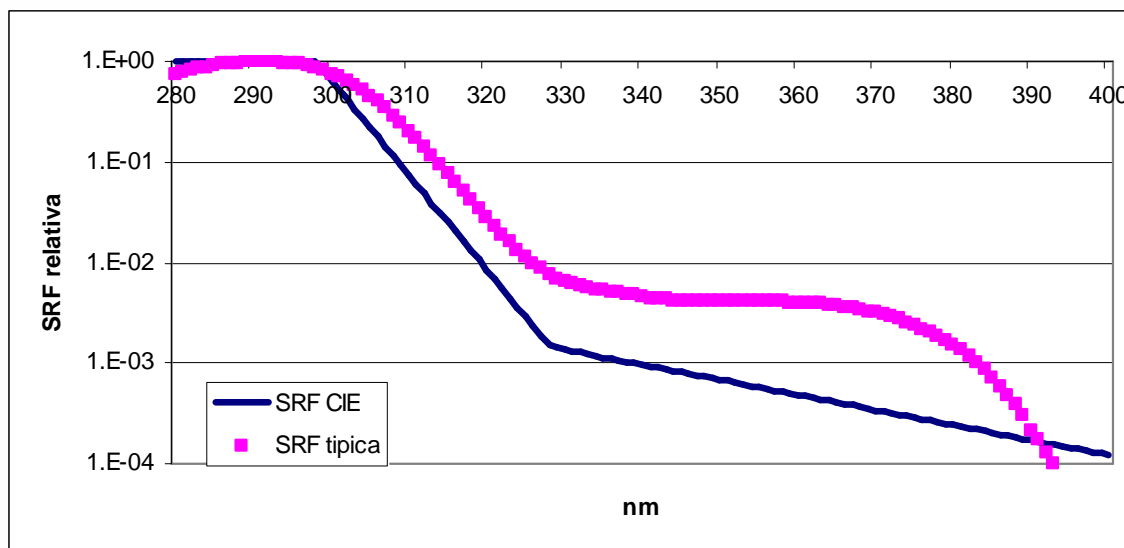


Pittogramma	Intensità della radiazione	Protezione
	debole	Non è necessario proteggersi
	moderata	Proteggersi: cappello, maglietta, occhiali da sole, crema solare
	elevata	Proteggersi: cappello, maglietta, occhiali da sole, crema solare
	molto elevata	Intensificare la protezione: evitare, se possibile, di restare all'aperto
	estrema	Intensificare la protezione: evitare, se possibile, di restare all'aperto

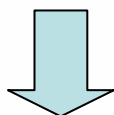


## MISURA DELL'INDICE UV

- Misura spettroradiometrica, riferimento per la calibrazione dei radiometri in banda larga
- Misura radiometrica ottenute attraverso radiometri banda larga. Strumenti più diffusi nelle stazioni meteo presenti sul territorio nazionale



Non perfetta corrispondenza tra risposta  
spettrale del radiometro e spettro ad  
azione CIE



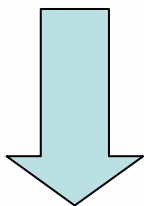
Sviluppo di una procedura di taratura  
dedicata





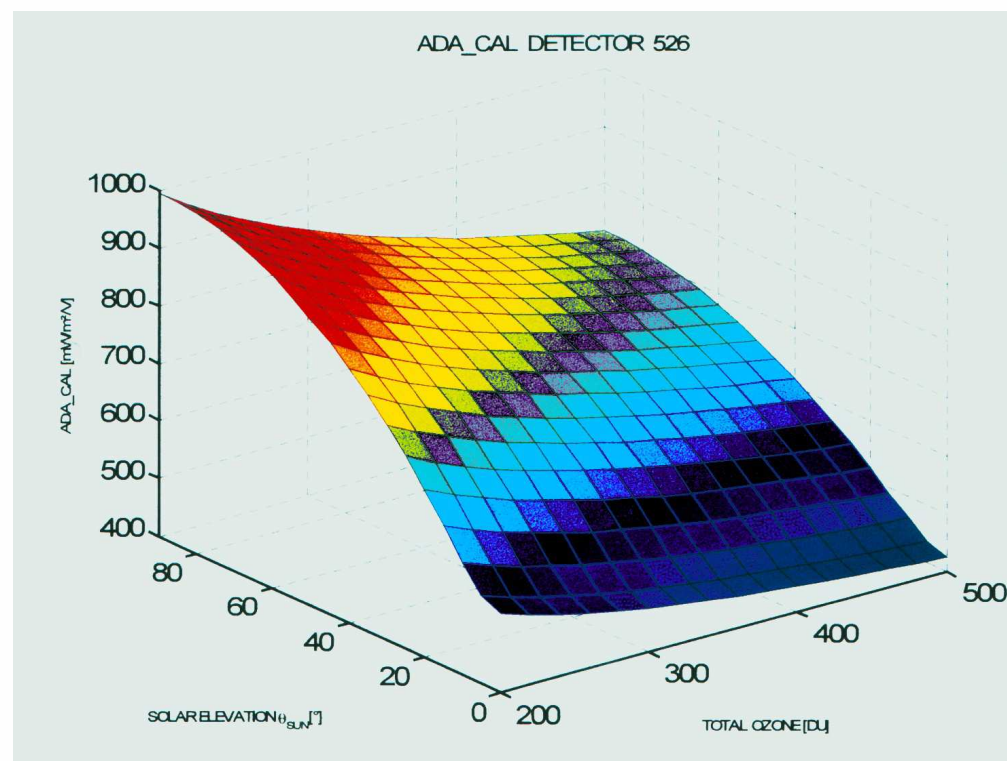
## TARATURA DEI RADIOMETRI UV ERITEMALI

- Misura in laboratorio delle risposte spettrale e angolare
- Esposizione in esterno alla radiazione solare



## MATRICE DI TARATURA

Coefficienti in funzione dell'ozono colonnare e dell'elevazione solare, parametri dai quali dipende lo spettro solare (in condizioni di cielo sereno)



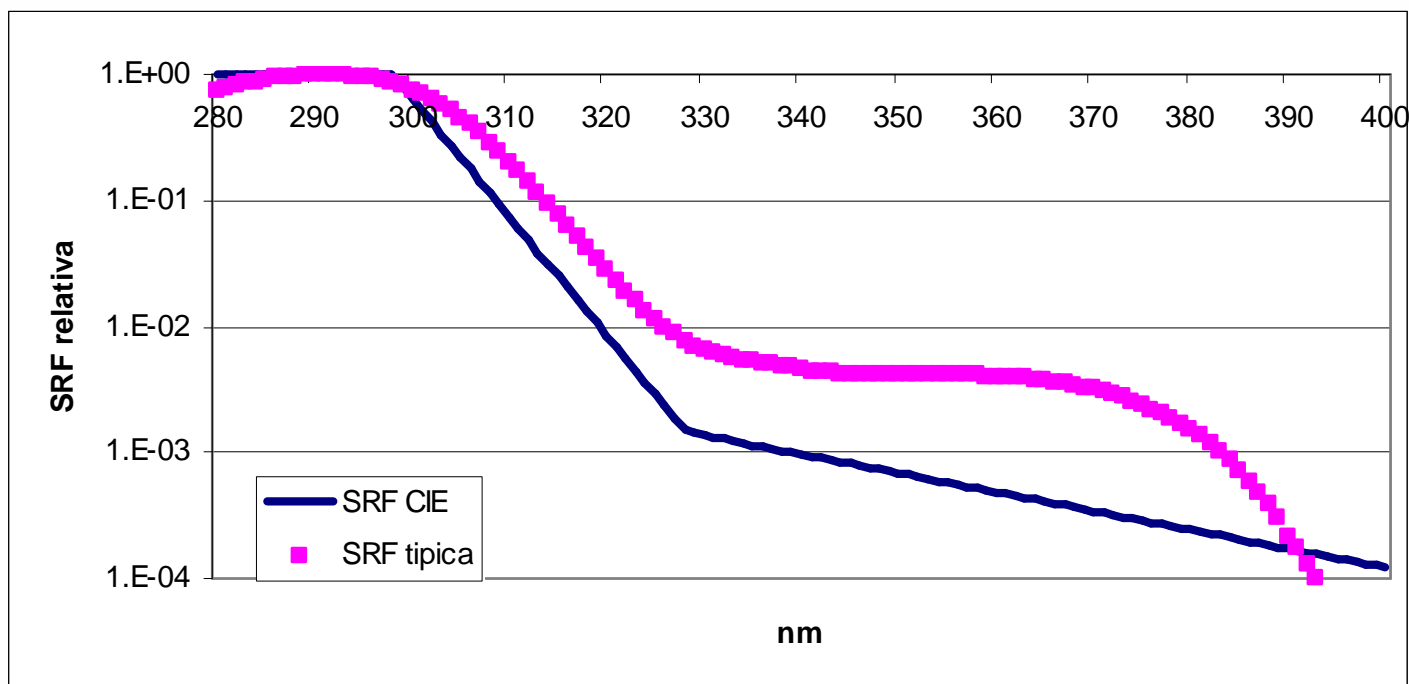
Permette di passare dalla tensione sul radiometro all'irradianza efficace eritemale noto l'ozono colonnare e l'elevazione solare al momento della misura



## MISURA DELLA RISPOSTA SPETTRALE (SRF)

### Caratteristiche della SRF

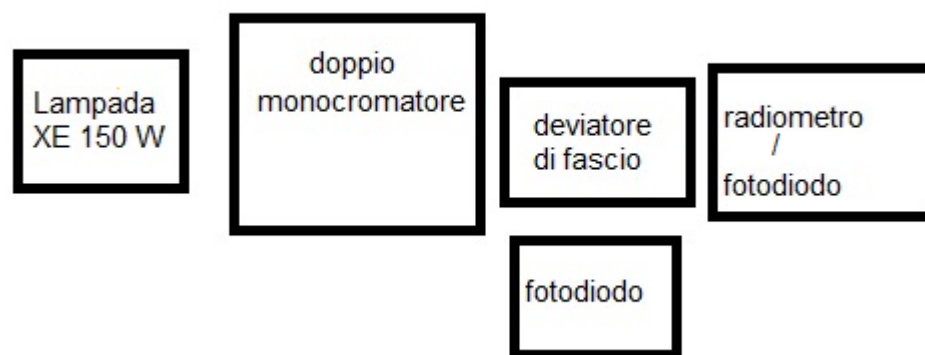
- Variazione della sensibilità di 4 ordini di grandezza [280-400] nm
- Elevato gradiente tra [300-330] nm
- Sensibilità estremamente bassa per lunghezze d'onda superiori a [370-380] nm





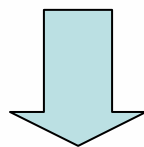


## SISTEMA SPERIMENTALE



**Doppio monocromatore  
Bentham con reticoli di  
2400 gr/mm e lunghezza  
d'onda di blazing 250 nm**

**Diminuzione di 4 ordini di grandezza  
della sensibilità**



**Uso di un doppio monocromatore  
(stray light  $10^{-6}$   $10^{-8}$ )**

$$SRF(\lambda) = \frac{V(\lambda) - V_{offset}}{P(\lambda)}$$

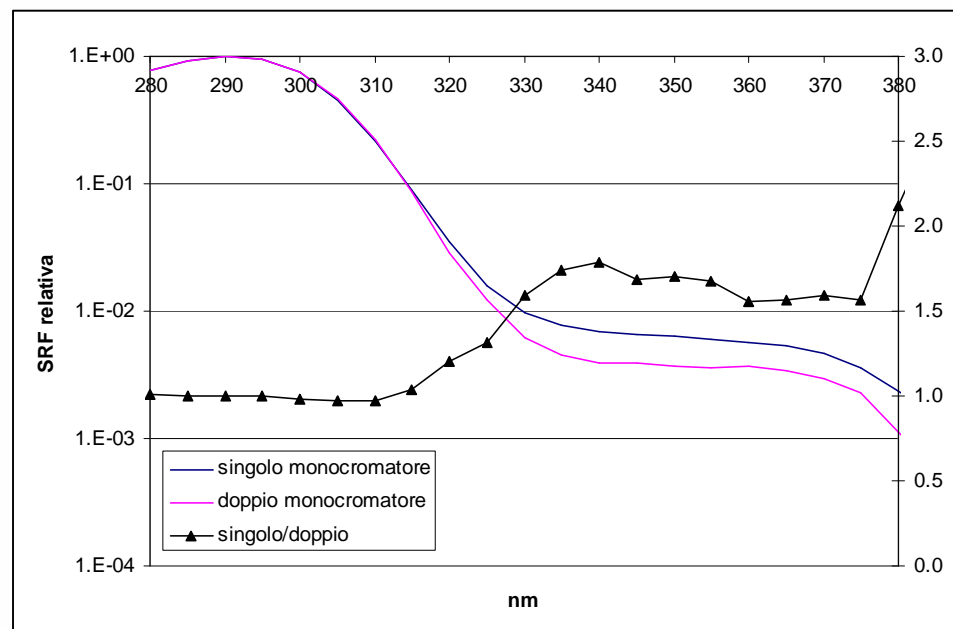
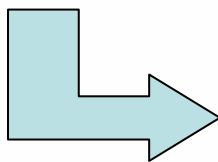
**Normalizzata al valore massimo**



## CONFRONTO SINGOLO e DOPPIO MONOCROMATORE

### Cause di incertezza:

- Ripetibilità di misura
- Taratura fotodiode  
(6%,  $k=2$ )
- Minore al 15% per  
 $SRF > 10^{-4}$  e del 30%  
altrove



### Parametri che influenzano l'esito della misura:

- Allineamento (300-330 nm)
- Slit function (300-330 nm)
- Caratterizzazione del segnale di fondo (oltre 360 nm)

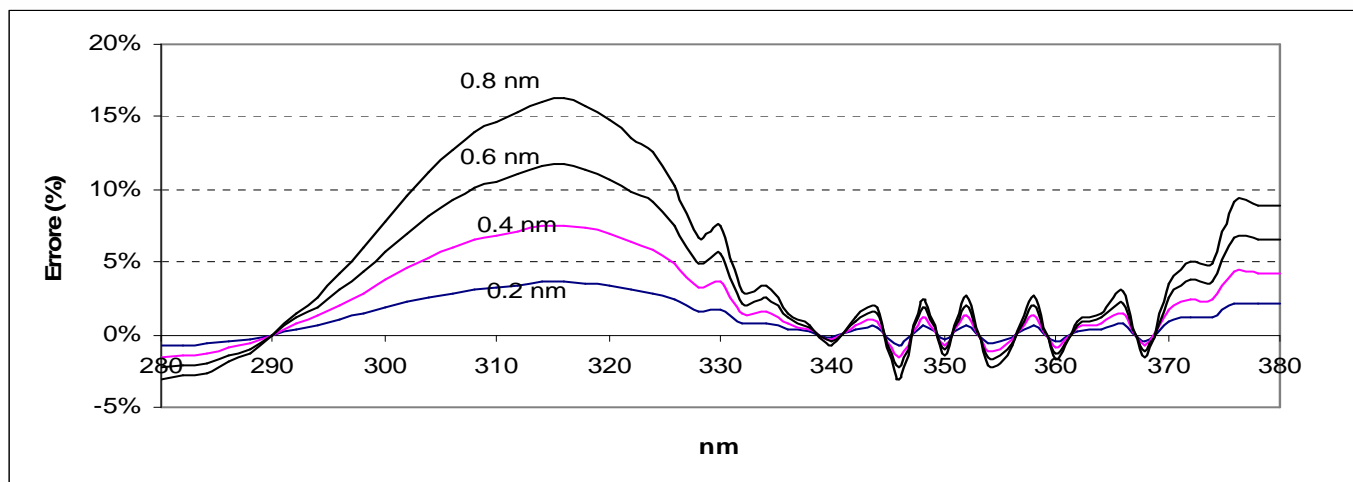


## ALLINEAMENTO

Effettuato per confronto con uno spettroradiometro allineato sui picchi di una sorgente Hg. Metodo alternativo rispetto ad allineare accoppiando direttamente il monocromatore ad una lampada allo Hg. L'incertezza è minore e si allinea nelle condizioni operative.

Incertezza di 0.10 nm

Errore dovuto al disallineamento valutato teoricamente per un radiometro tipo



disallineamento di 0.4 nm



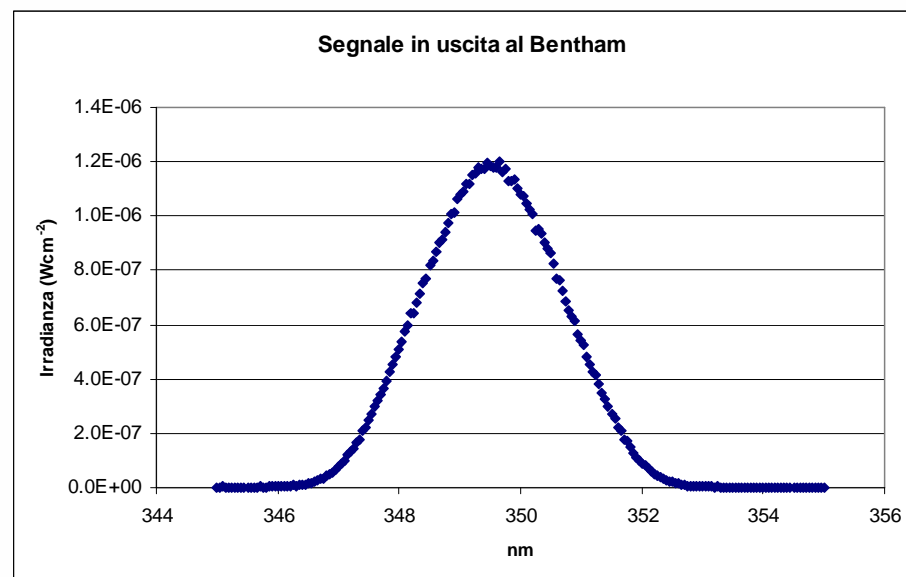
Errore prossimo 10% a 315 nm



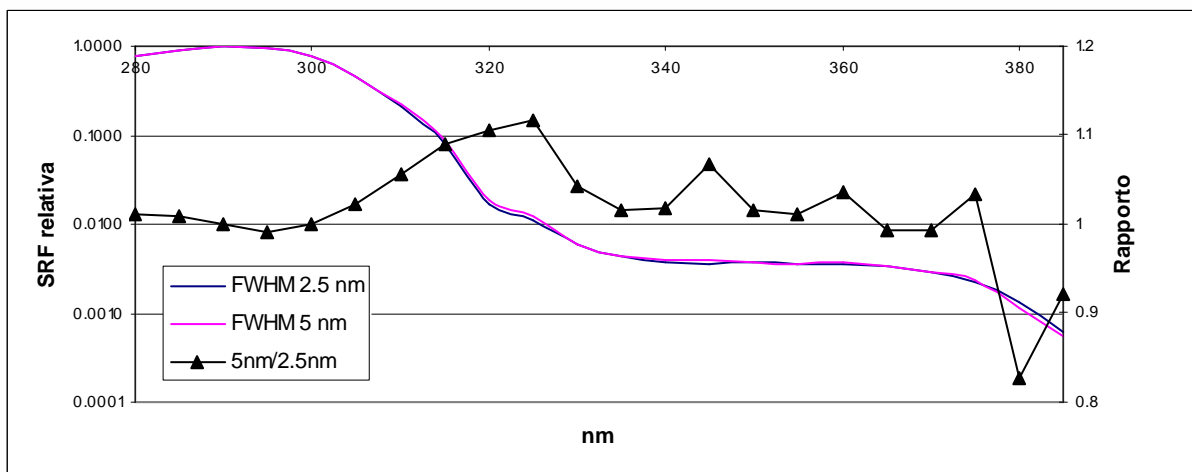


## SLIT FUNCTION

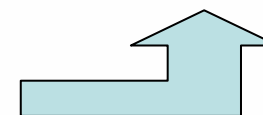
- Funzione della dimensione delle fenditure e della dispersione del monocromatore.
- Forma triangolare FWHM 2.5 nm
- Minore FWHM maggiore precisione di misura della SRF, ma diminuzione segnale in uscita



Confronto tra SRF ottenute su uno stesso radiometro per diverse slit function



**DIFFERENZE FINO  
AL 10 %**





## SEGNALE DI FONDO

- Per  $\lambda > 380 \text{ nm}$   $\rightarrow$  tensione sul radiometro paragonabile al rumore strumentale (decine di  $\mu\text{W}$ )  $\rightarrow$  corretta caratterizzazione del segnale di fondo del radiometro
- Determina la massima lunghezza d'onda alla quale si riesce ad attribuire un valore alla risposta spettrale
- Segnale di fondo ottenuto a shutter chiuso come media su 15-30 misure



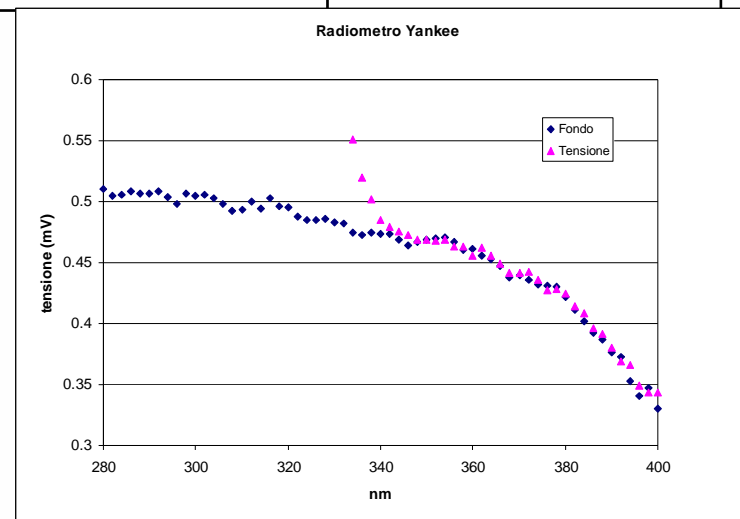
## RISULTATI DI MISURA E INTERCONFRONTI

Radiometro	Ente di appartenenza	Laboratorio di interconfr.
Kipp&Zonen UV-S-AE-T <b>R.1</b> s.n. 526	Arpa Vda	PMOD/WRC
Kipp&Zonen UV-S-AE-T <b>R.2</b> s.n. 40618	Arpa Vda	PMOD/WRC
Yankee Env. Syst UVB-1 <b>R.3</b>	Arpa Vda	PMOD/WRC
Kipp&Zonen UV-S-AE-T <b>R.4</b> s.n. 80003	Arpa Piemonte	Kipp&Zonen

Radiometri kipp&Zonen → [280-385]

Radiometro Yankee → [280-342] rivelatore UVB adattato a misure di Indice UV

Yankee radiometro ad elevato rumore strumentale, con corrente di fondo variabile nel corso della misura → maggiori difficoltà nella taratura

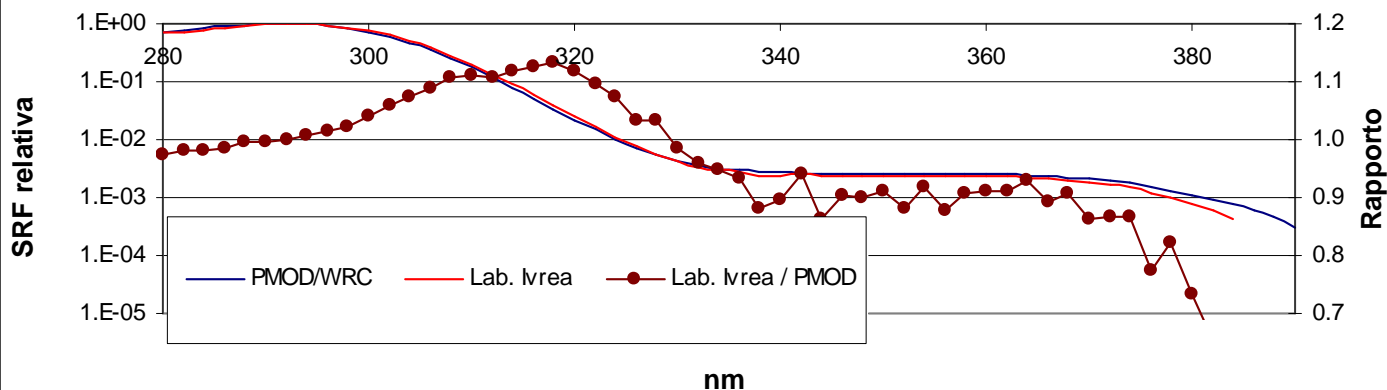




## INTERCONFRONTO CON PMOD/WRC

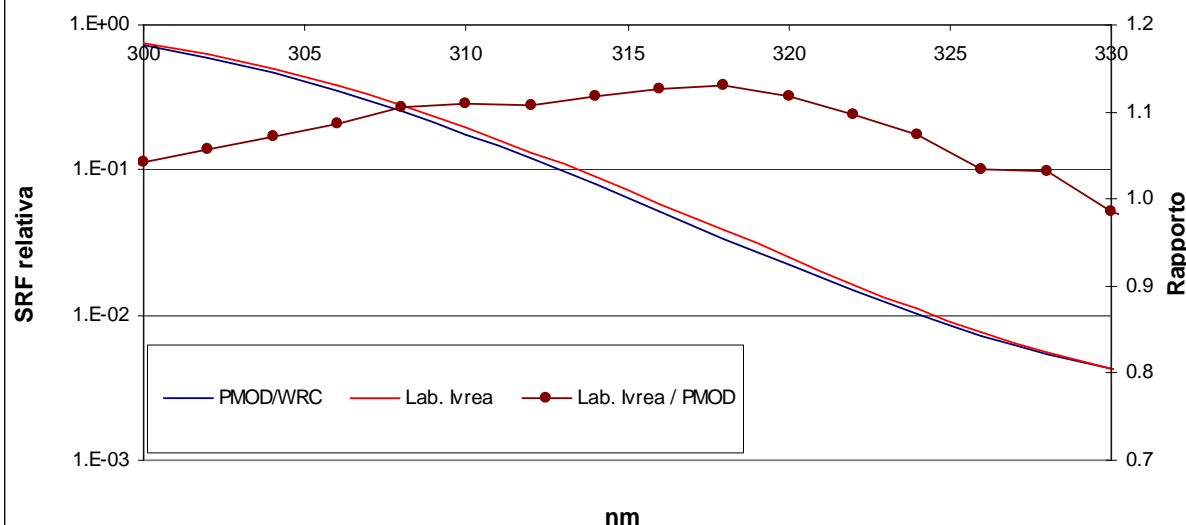
**R.1**

Kipp&Zonen 40618



Nell'intervallo  
spettrale 280-  
370 nm  
differenze  
contenute entro  
il 15%  
nonostante la  
variazione della  
SRF di 3 ordini  
di grandezza

Kipp&Zonen 40618

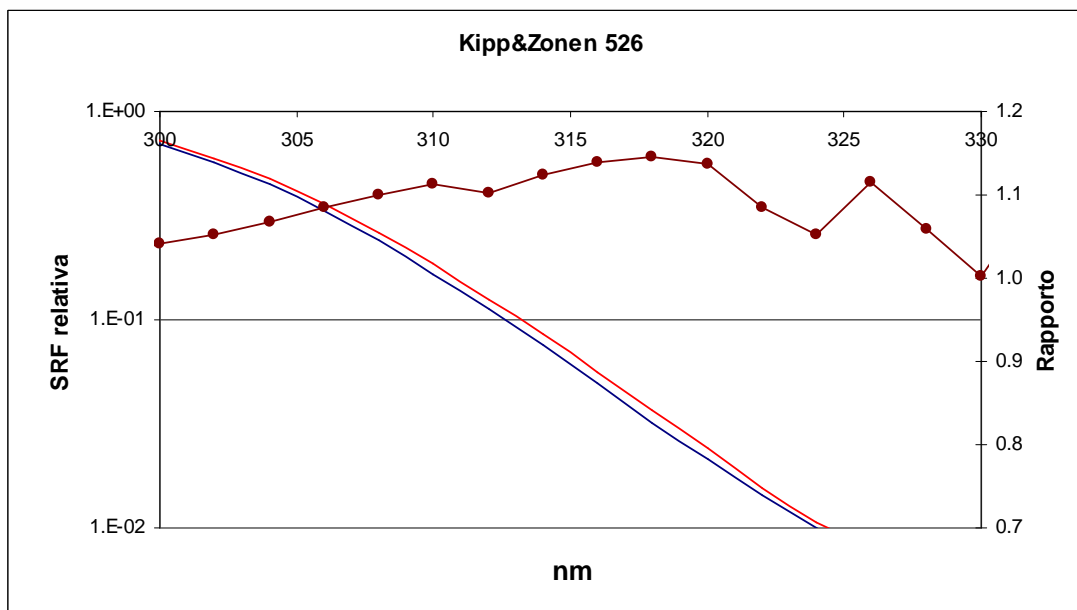
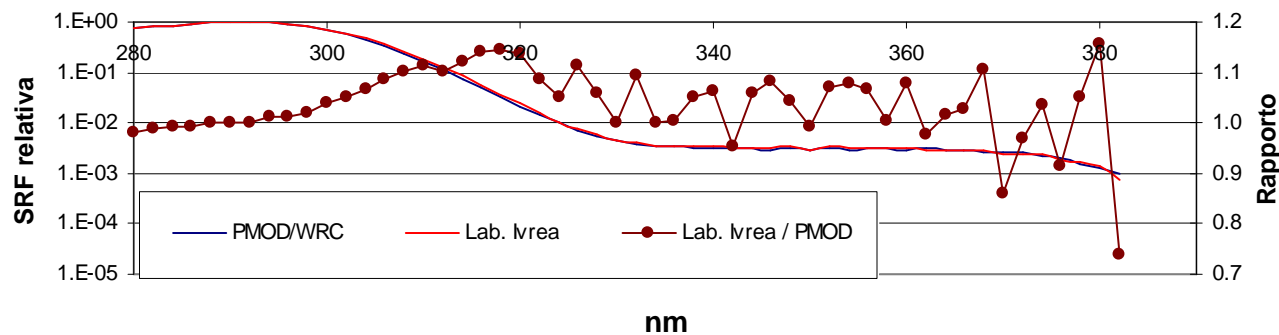


Disallineamento tra le  
curve ottenute:  
verificato poi  
sperimentalmente sul  
monocromatore di Arpa  
Piemonte un  
disallineamento di 0.6  
nm



## R.2

Kipp&Zonen 526

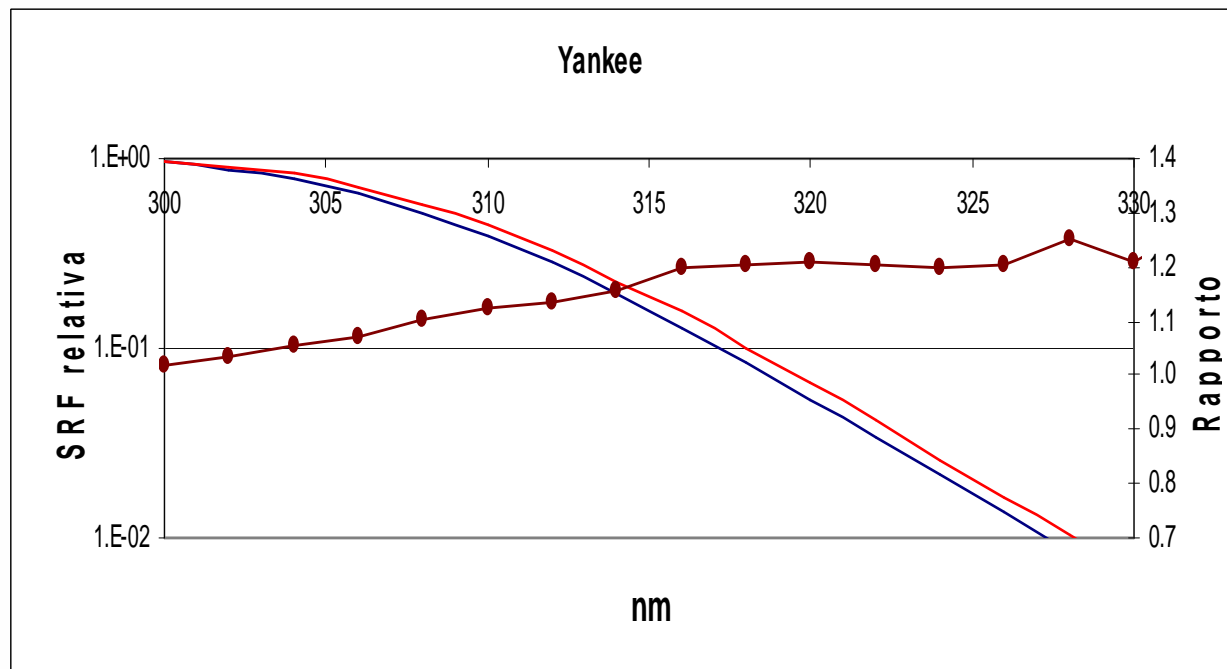
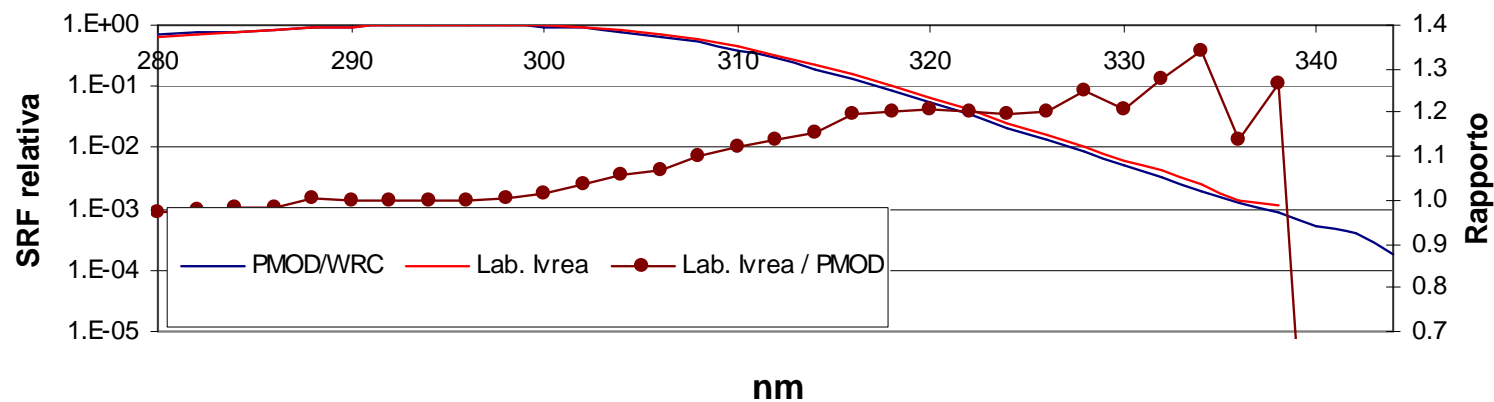


Nell'intervallo spettrale  
280-370 nm differenze  
contenute entro il 15%



### R.3

Yankee

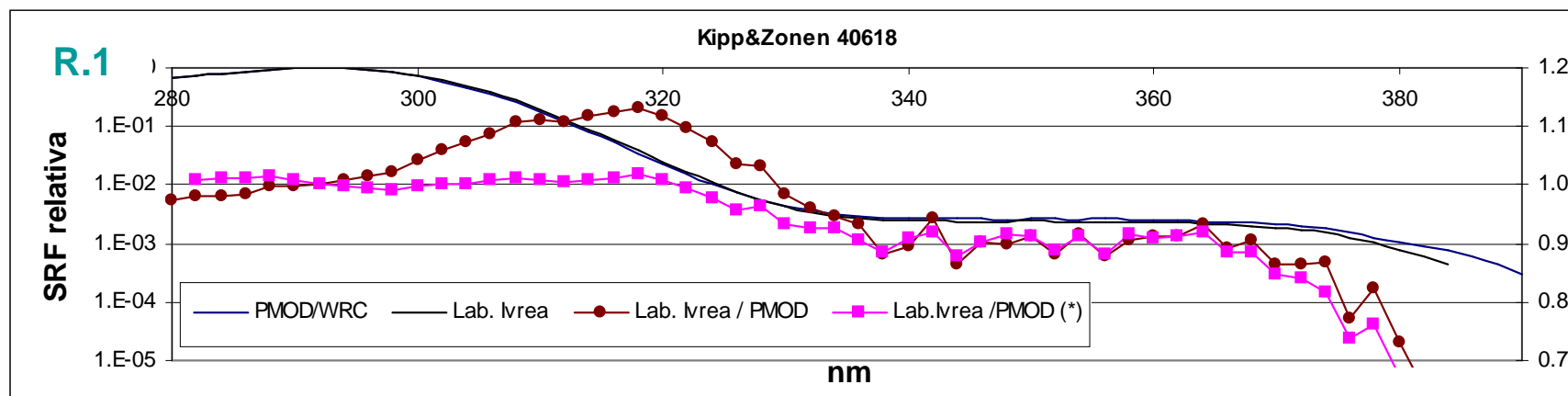


Differenze fino al 30% dovute sia al disallineamento sia al rumore di fondo



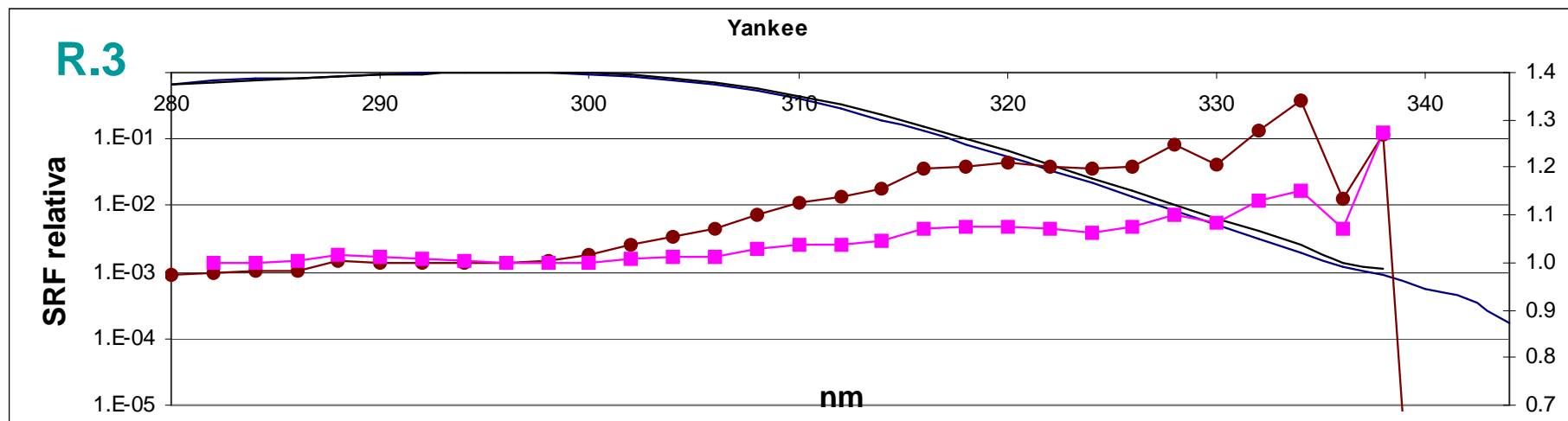


## RIALLINEAMENTO SRF TRAMITE INTERPOLAZIONE



(\*) SRF Arpa Piemonte riallineata

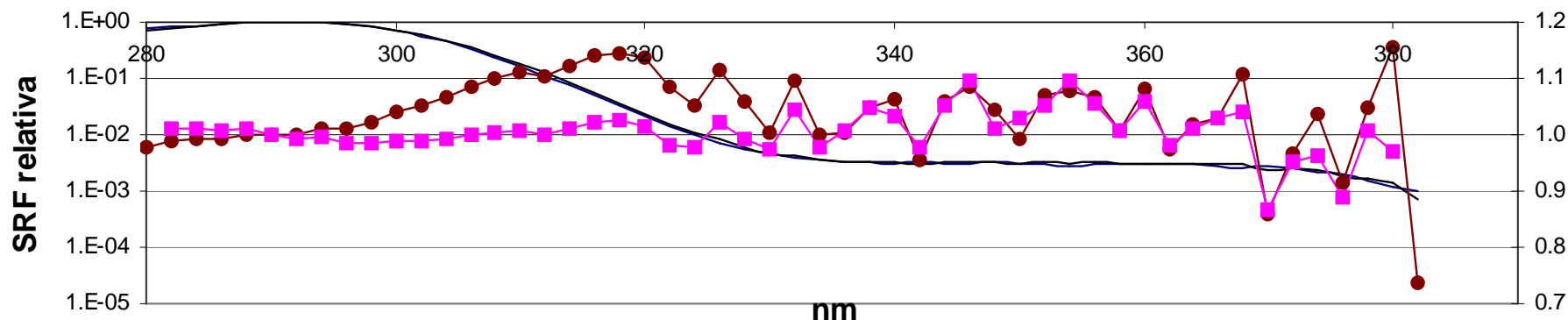
DIFFERENZE ENTRO il 5% PER IL K&Z e il  
10% per lo YANKEE 290-330 nm



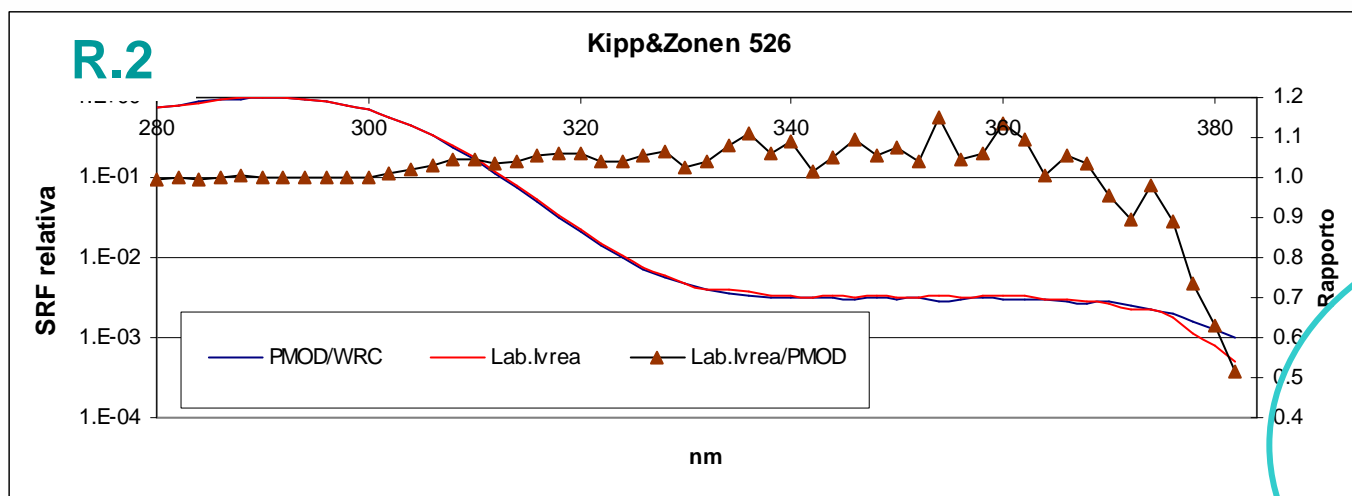


**R.2**

Kipp&Zonen 526



## RIMISURA A MONOCROMATORE RIALLINEATO E INTERCONFRONTO

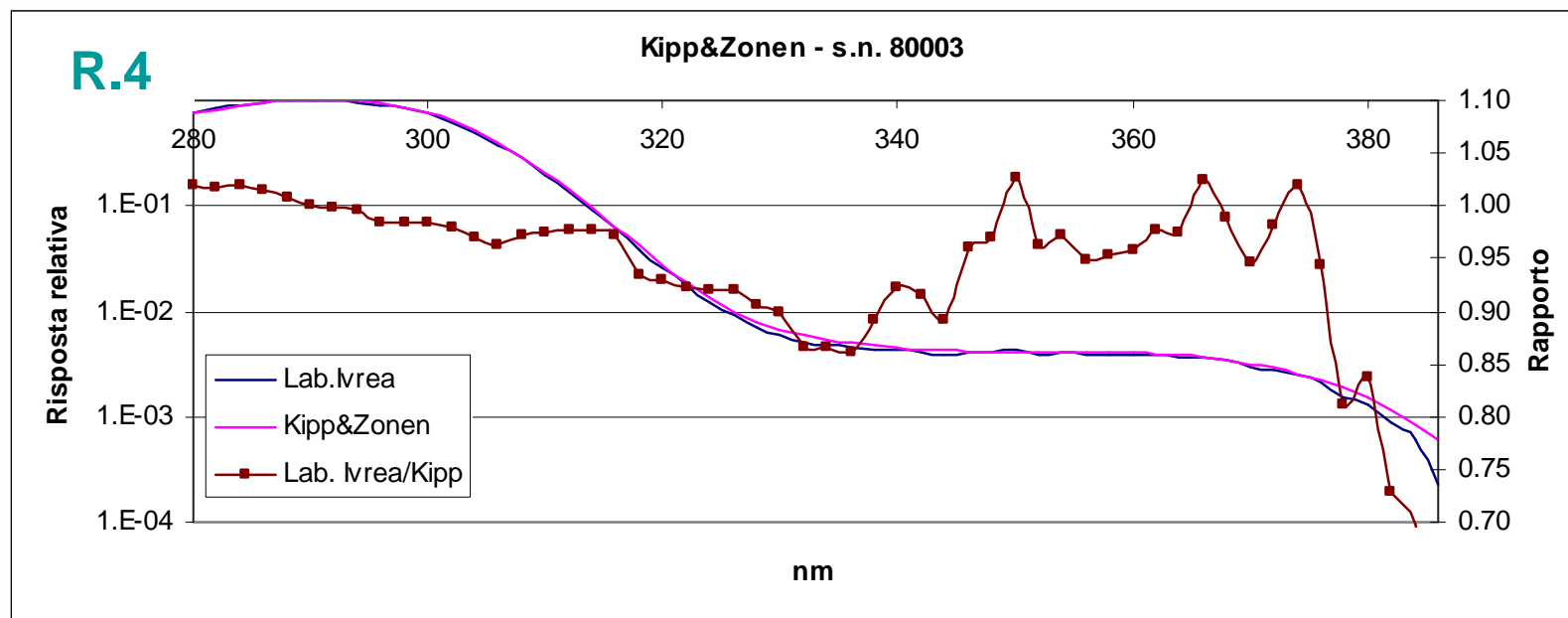


Differenze dovute diversa FWHM (PMOD 1.9 nm),  
incertezza sull'allineamento e sul dark signal

Differenze:  
<5%  
[300-330 nm]  
<15%  
[280-370 nm]



## INTERCONFRONTO CON LAB. KIPP&ZONEN



Differenze contenute entro il 15% nell'intervallo spettrale 280-370 nm riconducibili all'incertezza sull'allineamento e alla differente FWHM del segnale in uscita (k&Z: incertezza allineamento 0.3 nm; FWHM da 1.9 a 8 nm a seconda dell'intervallo spettrale)



*Quanto influiscono le differenze sulle SRF nel calcolo della matrice di taratura?*

## MATRICI: Differenze tra Arpa Piemonte e Laboratorio di confronto

Radiometro	K assoluto			C <sub>ij</sub> correttivi			M <sub>ij</sub> matrice		
Kipp&Zonen R2 Lab. PMOD	min	max	media	min	max	media	min	max	media
	2%	4%	2.5%	-4%	-2%	-3%	<b>-2%</b>	<b>1.5%</b>	<b>-1%</b>
Kipp&Zonen R4 Lab. k&Z	Min	max	Media	min	max	media	min	max	media
	-5%	-3%	-3%	4%	7%	5%	<b>-1%</b>	<b>4%</b>	<b>2%</b>

Differenze non superiori al 5% tra i coefficienti della matrice

Radiometro	K assoluto			C <sub>ij</sub> correttivi			M <sub>ij</sub> matrice		
Yankee R3 Monocromatore Non allineato	min	max	media	min	max	media	min	max	media
	7%	15%	10%	-17%	-9%	-13%	<b>-11%</b>	<b>3%</b>	<b>-4%</b>

Differenze media del 4% e massima del 10%:

Riduzione significativa della differenza tra le matrici rispetto quella delle SRF: lievi variazioni nella misura delle SRF non influiscono significativamente sui valori assunti dai coefficienti delle matrici, essendo tali variazioni molto minori rispetto alla differenza tra le SRF dei radiometri e lo spettro ad azione eritemale CIE.



## CONCLUSIONI

- Misura della SRF necessaria ai fini della taratura dei radiometri a banda larga per la misura dell'Indice UV
- Misura complessa a causa dell'elevato gradiente tra 300 e 330 nm e la bassa sensibilità già per lunghezze d'onda superiori a 350 nm
- Dai confronti effettuati con altri laboratori europei, differenze entro il 15% tra 280-370 nm per i radiometri Kipp&Zonen e nell'intervallo spettrale compreso tra 280-338 nm per il radiometro Yankee, nonostante le variazioni di 3 ordini di grandezza della SRF. Tali differenze rientrano nell'incertezza sperimentale e sono riconducibili all'incertezza sull'allineamento e sulla tensione di fondo del radiometro e alla differente slit function.
- Tali differenze sono in linea con le differenze ottenute in altri interconfronti effettuati da altri laboratori e si traducono in differenze di qualche percento nei coefficienti della matrice
- Nell'ottica della creazione di una rete di monitoraggio nazionale, possibilità di gestire le tarature dei radiometri sul territorio nazionale in collaborazione con Arpa Valle d'Aosta per la parte relativa all'esposizione alla radiazione solare