

## L'effetto Forbush e i rivelatori EEE

Badolato, Barbato, Benedetto, Bertini, Bonfini, Canettieri, Canforini, Cardarelli, De Lorenzo, Del Buono, Dragoni, D'Ubaldi, Dumlao, Falconi, Fanelli, Fasanari, Fioramonti, Franceschini, Gentili, Ilari, Lispi, Luci, Metafuno, Mocanita, Muscarà, Pasqualini, Perrucci, Piferi, Rossi, Suarsi, Voci e Antonucci

### Liceo Cavour Roma

**Abstract:** L'effetto Forbush si verifica in corrispondenza di un incremento dell'attività solare e consiste in una diminuzione del numero dei raggi cosmici rivelati sulla terra. Questo si verifica poiché alla massima attività solare, si generano campi magnetici più intensi che interagiscono con i raggi cosmici e determinano una riduzione della loro intensità di circa il 20%, in un periodo che può variare da qualche ora fino a circa una settimana. Il fenomeno può essere identificato anche attraverso l'analisi dei dati raccolti dai rivelatori EEE opportunamente corretti in base alle differenze di pressione rispetto alla pressione standard. In questo lavoro vengono analizzati i dati provenienti dal rivelatore del CERN nel periodo dal 20 giugno al 10 luglio del 2015 e i risultati sono confrontati con quelli del rivelatore a neutroni dell'Università degli Studi Roma Tre e del Neutron Monitor di Berna.

### Introduzione

Il lavoro presentato in quest'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto EEE che si propone di identificare i raggi cosmici di alta energia attraverso lo studio della componente muonica degli sciami di particelle che si generano durante l'impatto dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre.

Il progetto prevede che in molte scuole d'Italia venga posizionato un apparato sperimentale (MRPC) dedicato alla rivelazione e alla misura delle caratteristiche dei muoni cosmici. La distribuzione di un gran numero di rivelatori su un'ampia superficie permette di aumentare la probabilità di intercettare raggi cosmici di alta energia. Si tratta di un vero e proprio esperimento scientifico che gli studenti conducono insieme ai ricercatori che abbina alla finalità prettamente scientifica la finalità educativa di "... portare la scienza nelle scuole" come affermava il prof. Antonino Zichichi, ideatore del progetto.[1]

I rivelatori del progetto EEE sono costituiti da tre camere attraverso le quali, una volta posizionato in modo opportuno il dispositivo, è possibile intercettare la componente muonica dei raggi cosmici. Le misure consentono, tra l'altro, di stabilire la lunghezza della traccia, il tempo di volo, il numero di tracce rivelate, il numero di tracce che potrebbero essere, al netto della "rumorosità" dei segnali intercettati, effettivamente dovute al passaggio di un raggio cosmico, e così via. Le stazioni annotano anche tutti i parametri ambientali del luogo in cui il rivelatore è posizionato poiché questi possono condizionare i dati e in alcuni casi, ad esempio in caso di temperature molto elevate, causare errori di funzionamento dello strumento.

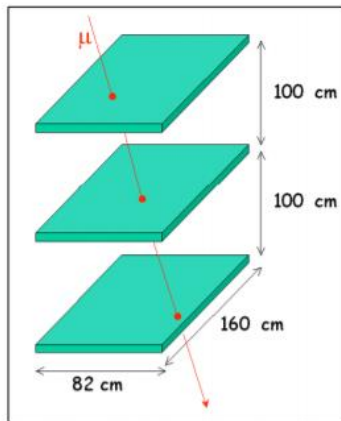


Fig.1 Schema e foto del rivelatore

La possibilità di determinare, con il rivelatore EEE, il numero delle tracce muoniche consente di poter accertare anche la loro variabilità e poter quindi identificare l'effetto Forbush verificando la diminuzione delle tracce rilevate in corrispondenza di eruzioni solari particolarmente intense.

Il sole è una stella attiva; l'indice più evidente di questa attività, insieme ai brillamenti o all'espulsione di masse coronali, è il numero delle macchie solari che varia ciclicamente ogni undici anni. Un elevato numero di macchie solari, misurato dal numero *di Wolf*, denota una maggiore attività del sole che si traduce in un aumento del vento solare, costituito da particelle cariche, e del campo magnetico che deflette i raggi cosmici e provoca la diminuzione di particelle osservate alla superficie terrestre.

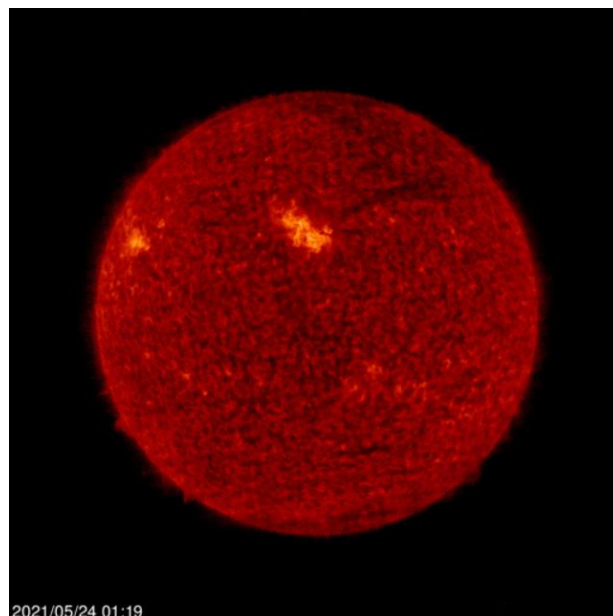


Fig.2 Atmosfera solare con zone a differente temperatura

Lo scopo di questo lavoro è quello di evidenziare la possibilità di identificare l'effetti Forbush attraverso i rivelatori EEE e di confrontare queste tracce con quelle identificate da altri rivelatori come quello a neutroni dell'Università [degli Studi di Roma3](#) e quello a neutroni dell'Osservatorio di Berna.

A tale scopo sono stati inizialmente analizzati i tracciati relativi all'attività solare per identificare un periodo di osservazione compatibile con i dati raccolti sia dei rivelatori EEE che dagli altri rivelatori.

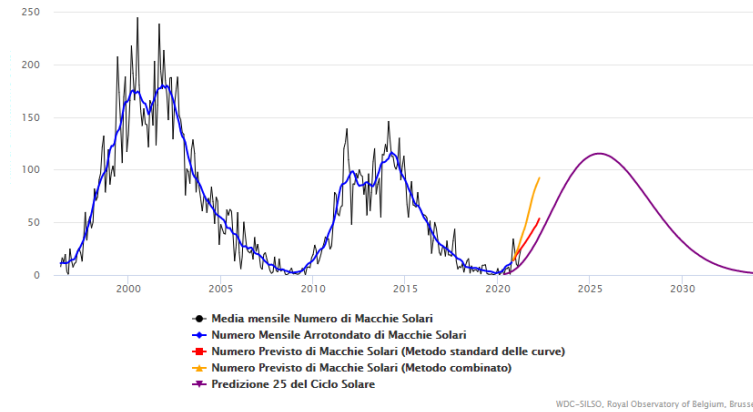


Fig.3 Progressione del Ciclo Solare. Numero di Macchie Solari[2]

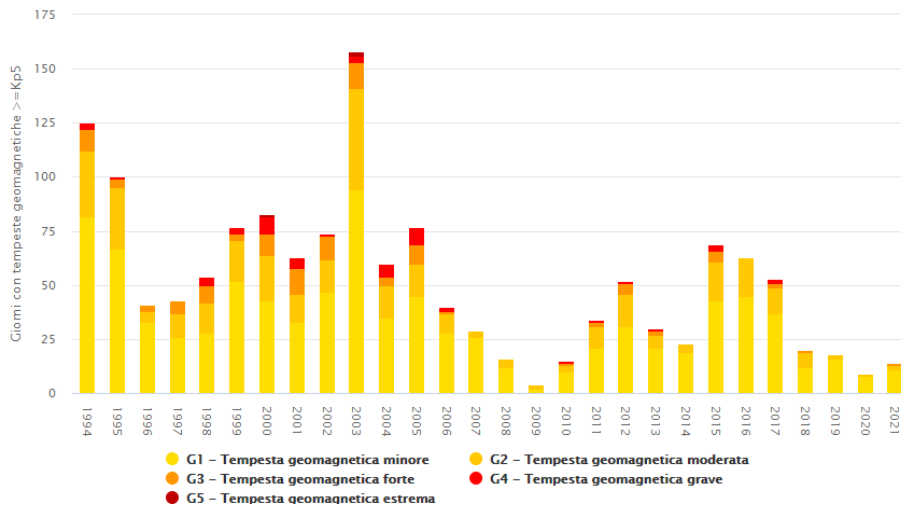


Fig.4 Numero Giorni con tempeste magnetiche

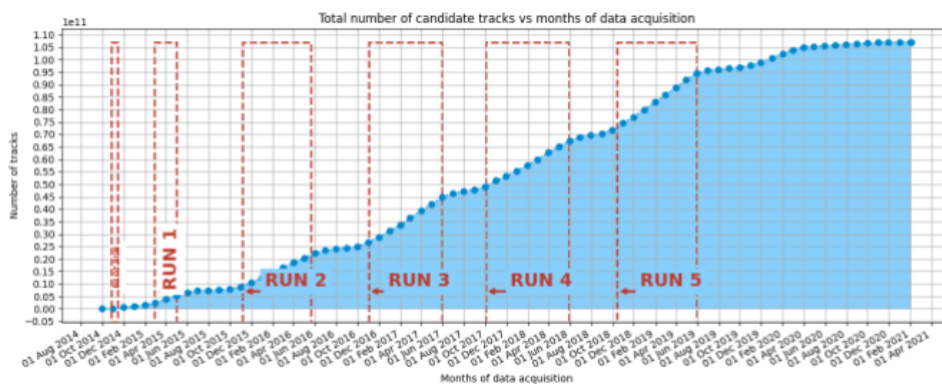


Fig.5 Run del progetto EEE

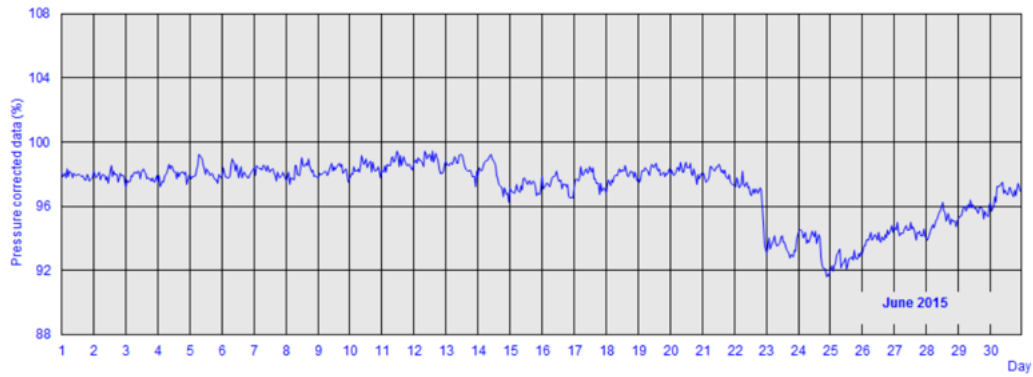


Fig.6 Dati relativi ai raggi cosmici rivelati dal rivelatore a neutroni dell'Università di Roma3

L'analisi di questi dati ci ha suggerito di prendere in considerazione il mese di giugno dell'anno 2015 e come rivelatore EEE abbiamo scelto di utilizzare il CERN 01.[4]

### Materiali e Metodi

I dati del rivelatore CERN01 sono stati raccolti utilizzando il database DQM raggiungibile dal sito del progetto EEE del Centro Fermi.[5]

Per confrontare dati omogenei, abbiamo considerato i dati relativi alle ore 12 del periodo dal 20 giugno 2021 al 12 luglio 2021. I dati raccolti hanno riguardato il Rate Track Events e la pressione del sito in cui è posizionato il rivelatore.

Al fine di osservare l'effetto Forbush è stato necessario:

- effettuare correzioni sul numero di eventi in base ai cambiamenti di pressione occorsi durante le misurazioni.
- calcolare i valori cumulativi del tempo relativi all'azione del telescopio.
- disporre i dati in un grafico in cui l'asse delle ordinate presenti i valori relativi al numero di eventi registrati e l'asse delle ascisse i valori del tempo cumulato

Il fenomeno dell'effetto Forbush, se presente, corrisponderà ad un minimo nell'andamento del grafico analizzato.

Tabella 1. Dati sperimentali CERN 01

Data	Ora	Rate track events	Experimental Error Rate track events $\pm$	Pressure
20-giu-15	12:20	39,74	0,81	968
21-giu-15	12:20	40,89	0,82	968
22-giu-15	12:20	39,34	0,8	962
23-giu-15	12:20	40,10	0,81	962
24-giu-15	12:10	39,39	0,8	969
25-giu-15	12:27	38,30	0,79	967
26-giu-15	12:20	37,10	0,78	969
27-giu-15	12:20	36,70	0,78	967
28-giu-15	12:20	36,11	0,77	968
29-giu-15	12:20	36,20	0,77	969
30-giu-15	12:25	34,16	0,75	966
01-lug-15	12:10	31,80	0,72	966
02-lug-15	12:30	29,89	0,7	968
03-lug-15	12:20	26,75	0,66	970
04-lug-15	12:20	25,21	0,64	969
07-lug-15	12:20	24,26	0,63	960
09-lug-15	12:25	32,89	0,73	967
10-lug-15	12:25	34,77	0,75	967
11-lug-15	12:30	31,36	0,72	966
12-lug-15	12:30	31,20	0,72	965

In generale, tra il rate track degli eventi e la pressione esiste una relazione inversa cioè ad un aumento della pressione corrisponde un abbassamento del rate. Questo perché ad una pressione più elevata corrisponde una maggiore densità dell'aria e quindi una maggiore probabilità di urto tra le particelle dell'atmosfera e i muoni che arrivano al suolo in numero minore.

La correzione barometrica può essere effettuata utilizzando al seguente relazione:

$$\text{Rate corretto} = \text{Rate misurato} / \exp(\alpha \Delta P)$$

dove  $\alpha$  è il valore del coefficiente barometrico, che può essere determinato sperimentalmente, mentre  $\Delta P$  è la differenza tra la pressione misurata e quella atmosferica approssimata a 1000 mbar.

Per il valore di  $\alpha$  è stato utilizzato un dato di letteratura  $\alpha = -0,002/\text{mbar}$  [6]. La tabella 2 contenente i dati corretti è riportata di seguito insieme al grafico dell'andamento del rate misurato e corretto in funzione del tempo.

Tabella 2. Correzione barometrica dei dati

Data	Ora	Time*(h)	Rate track events	Experimental Error Rate track events $\pm$	Pressure	Rate corretto
20-giu-15	12:20	0	39,74	0,81	968	36,92
21-giu-15	12:20	24	40,89	0,82	968	37,99
22-giu-15	12:20	48	39,34	0,8	962	36,05
23-giu-15	12:20	72	40,10	0,81	962	36,74
24-giu-15	12:10	96	39,39	0,8	969	36,68
25-giu-15	12:27	120	38,30	0,79	967	35,50
26-giu-15	12:20	144	37,10	0,78	969	34,55
27-giu-15	12:20	168	36,70	0,78	967	34,02
28-giu-15	12:20	192	36,11	0,77	968	33,55
29-giu-15	12:20	216	36,20	0,77	969	33,71
30-giu-15	12:25	240	34,16	0,75	966	31,59
01-lug-15	12:10	264	31,80	0,72	966	29,41
02-lug-15	12:30	288	29,89	0,7	968	27,77
03-lug-15	12:20	312	26,75	0,66	970	24,97
04-lug-15	12:20	336	25,21	0,64	969	23,48
07-lug-15	12:20	408	24,26	0,63	960	22,13
09-lug-15	12:25	456	32,89	0,73	967	30,49
10-lug-15	12:25	480	34,77	0,75	967	32,23
11-lug-15	12:30	504	31,36	0,72	966	29,00
12-lug-15	12:30	552	31,20	0,72	965	28,79

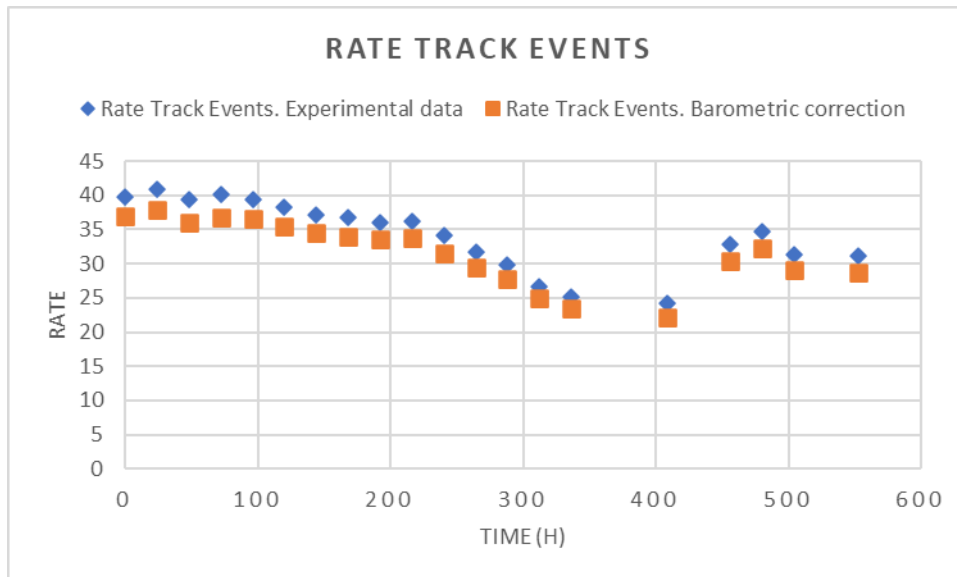


Fig. 7 Andamento del rate misurato e del rate corretto per la pressione, in funzione del tempo

Analizzando il grafico del rate corretto, si osserva una evidente diminuzione del numero di raggi cosmici nel periodo 29 giugno - 10 luglio che però non corrisponde al periodo registrato dal rivelatore a neutroni di Roma3 e al rivelatore a neutroni di Berna [7] per i quali l'effetto Forbush si osserva nel periodo 22 giugno - 1 luglio

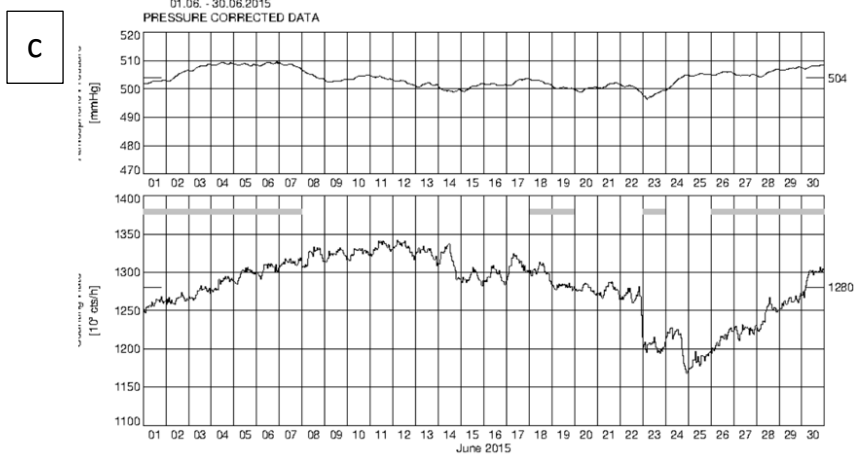
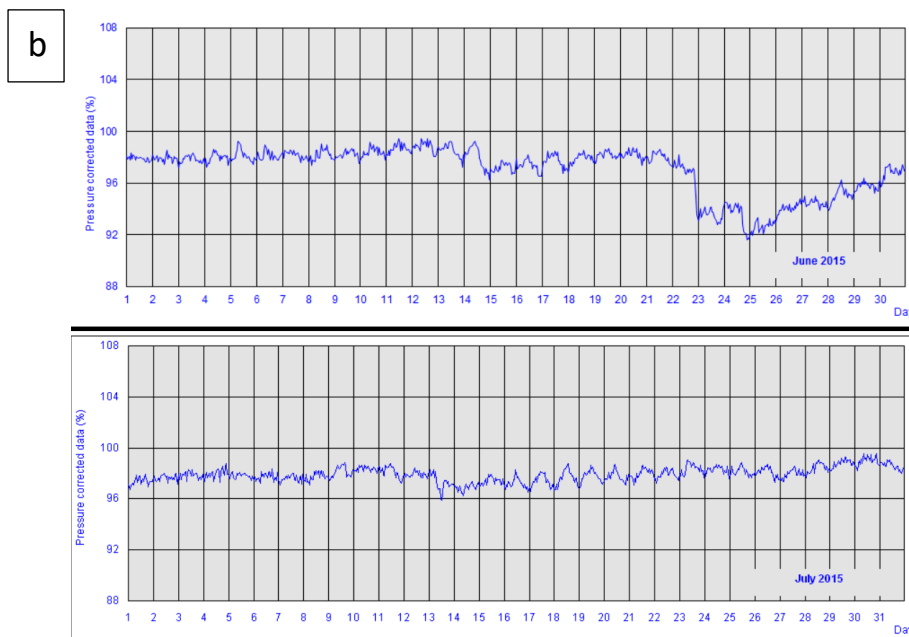
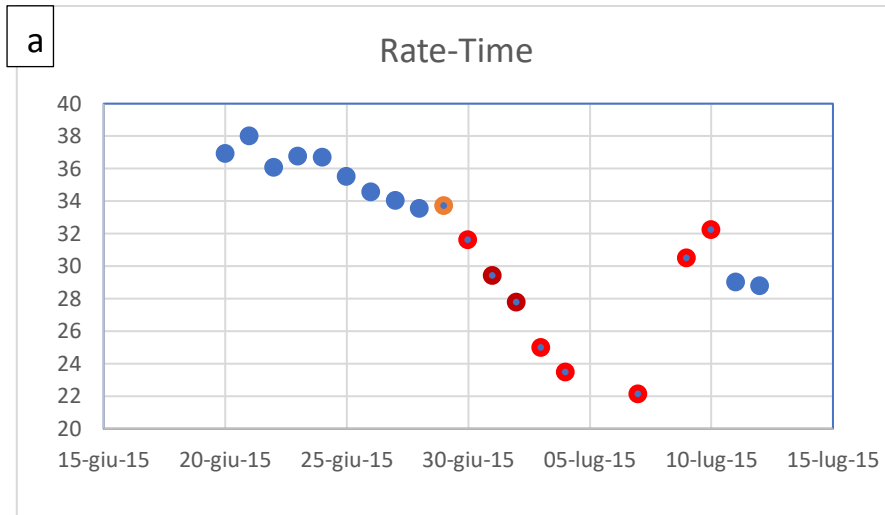


Fig.7. Confronto tra i dati rivelati dal telescopio CERN01(a) e dal telescopio SVIRGO dell'Università Roma3(b) E i dati dell'osservatorio di Berna (c)

## Conclusioni

L'analisi dei dati provenienti dal telescopio a muoni dell'esperimento EEE CERN 01 ha mostrato che il telescopio è in grado di rivelare la diminuzione del numero dei muoni che giungono al suolo durante i periodi di maggiore attività del sole verificando quindi l'effetto Forbush.

Per lo stesso periodo temporale sono stati anche analizzati i tracciati dei telescopi a neutroni dell'Università Roma3 e dell'osservatorio a neutroni di Berna.

I tracciati dei telescopi a neutroni sono confrontabili e mostrano una diminuzione nella rivelazione di raggi cosmici nello stesso periodo temporale mentre il telescopio a muoni del CERN mostra uno slittamento temporale di circa una settimana rispetto agli altri telescopi.

La differenza nel periodo di osservazione dell'effetto Forbush potrebbe essere dovuta alle diverse caratteristiche di funzionamento dei telescopi o alla loro diversa collocazione geografica ma certamente questa anomalia dovrebbe essere oggetto di ulteriori approfondimenti.

## Bibliografia e Sitografia

[1] [Extreme Energy Events - La Scienza nelle Scuole di A. Zichichi \(versione 2017\)](#),

[2] <https://www.spaceweatherlive.com/it/attivita-solare/ciclo-solare.html>

[3] [http://webusers.fis.uniroma3.it/svirco/Dati/sm2015\\_file/Graf\\_2015\\_ing.htm](http://webusers.fis.uniroma3.it/svirco/Dati/sm2015_file/Graf_2015_ing.htm)

[4] [EEE Monitor - DQM](#)

[5] <https://iatw.cnaf.infn.it/eee/monitor/dqm2/CERN-01/2015-06-25/>

[6] [International Cosmic Day, Master Class 4/11/2020](#)

[7] <http://cosray.unibe.ch/>