

Commissione italiana URSI
Convegno URSI Italia
Taormina, 21-22 giugno 2011

Metrologia dell'impedenza elettrica

Luca Callegaro

Commissione A

Istituto Nazionale
di Ricerca Metrologica



Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM)

Nasce nel 2006

Fusione di due istituti preesistenti:

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris
1935 - 2006



Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del CNR
1968-2006



INRIM

Ente pubblico nazionale di ricerca, afferente al MIUR

Istituto metrologico primario (insieme a INMRI-ENEA)

Campioni primari di tutte le unità SI

(tranne radiazioni ionizzanti)

Attività:

- Sviluppo e mantenimento dei campioni di unità SI
- Determinazione di costanti fisiche fondamentali
- Sviluppo di tecnologie quantistiche
- Sistema di navigazione Galileo
- Materiali magnetici, superconduttori, nanotecnologie
- Metrologia per la chimica e le biotecnologie

INRIM, 2010:

- 4 sedi (3 Torino, 1 Pavia)
- Campus 130 000 m²
- 50 laboratori
- Budget 30 M€
- Valore della strumentazione installata: 48 M€

- 109 ricercatori
- 91 tecnici
- 28 amministrazione

Collezione di strumenti

Biblioteca: 23 700 volumi, 1 400 riviste scientifiche,
130 riviste attualmente sottoscritte

Collezione di strumenti del XIX secolo

INRIM, 2010:

- 100 pubblicazioni JRC
- 200 comunicazioni internazionali
- 50 seminari ed eventi scientifici
- 90 contratti di ricerca
- 1 500 certificati di taratura e rapporti di prova
- 60 borse di studio e collaborazioni
- 40 tesisti e dottorandi di ricerca
- 750 visitatori

INRIM

Divisioni:

- Elettromagnetismo
- Meccanica
- Ottica
- Termodinamica

INRIM, Divisione Elettromagnetismo

8 Programmi di ricerca

- Dispositivi quantistici e campione di tensione
- Metrologia della resistenza e dell'impedenza elettrica
- Metrologia delle grandezze elettriche variabili e metrologia delle grandezze elettriche in alta frequenza
- Modelli matematici e applicazioni a materiali e dispositivi
- Campi elettromagnetici e sistemi di potenza
- Nanofabbricazione
- Materiali magnetici e misure
- Proprietà elettromagnetiche della materia

INRIM

Ente pubblico nazionale di ricerca, afferente al MIUR

Istituto metrologico primario (insieme a INMRI-ENEA)

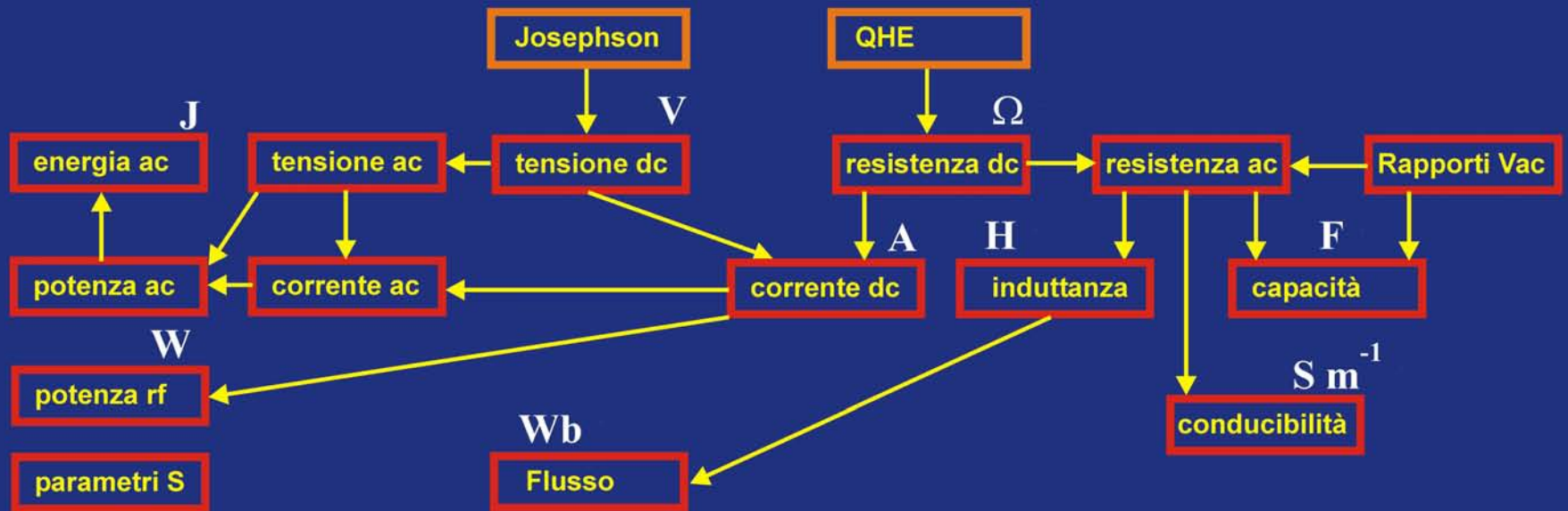
Campioni primari di tutte le unità SI

(tranne radiazioni ionizzanti)

Elettromagnetismo: Campioni nazionali

EURAMET TC-EM

Calibration and Measurement Capabilities EM: 304 entries



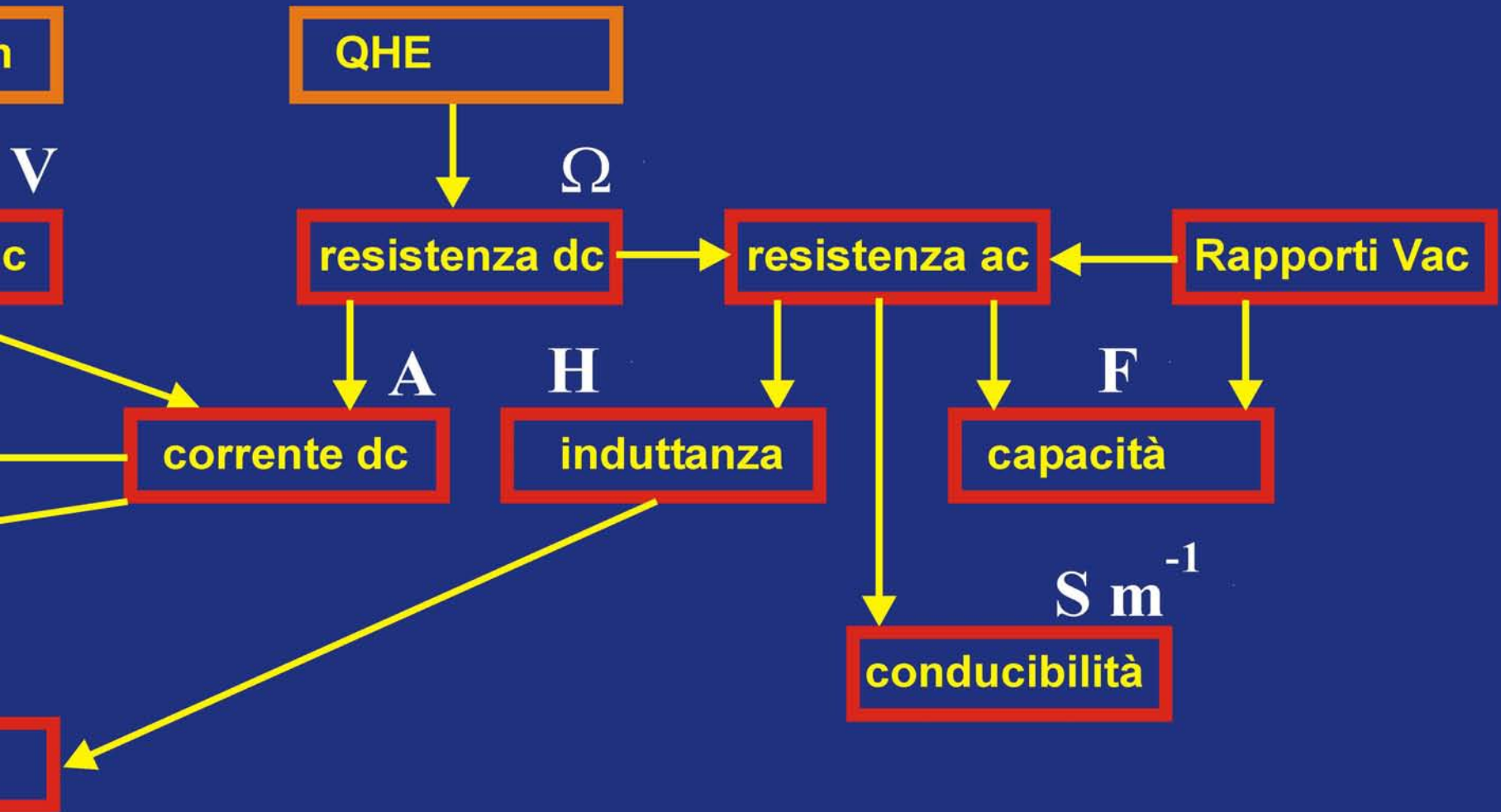
effetti quantistici

campioni nazionali

unità SI

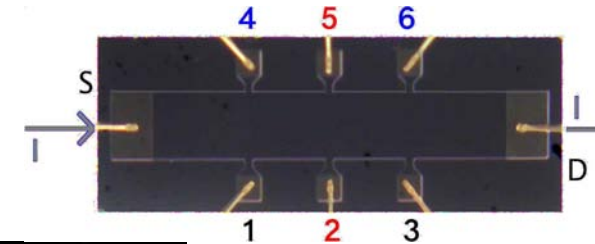
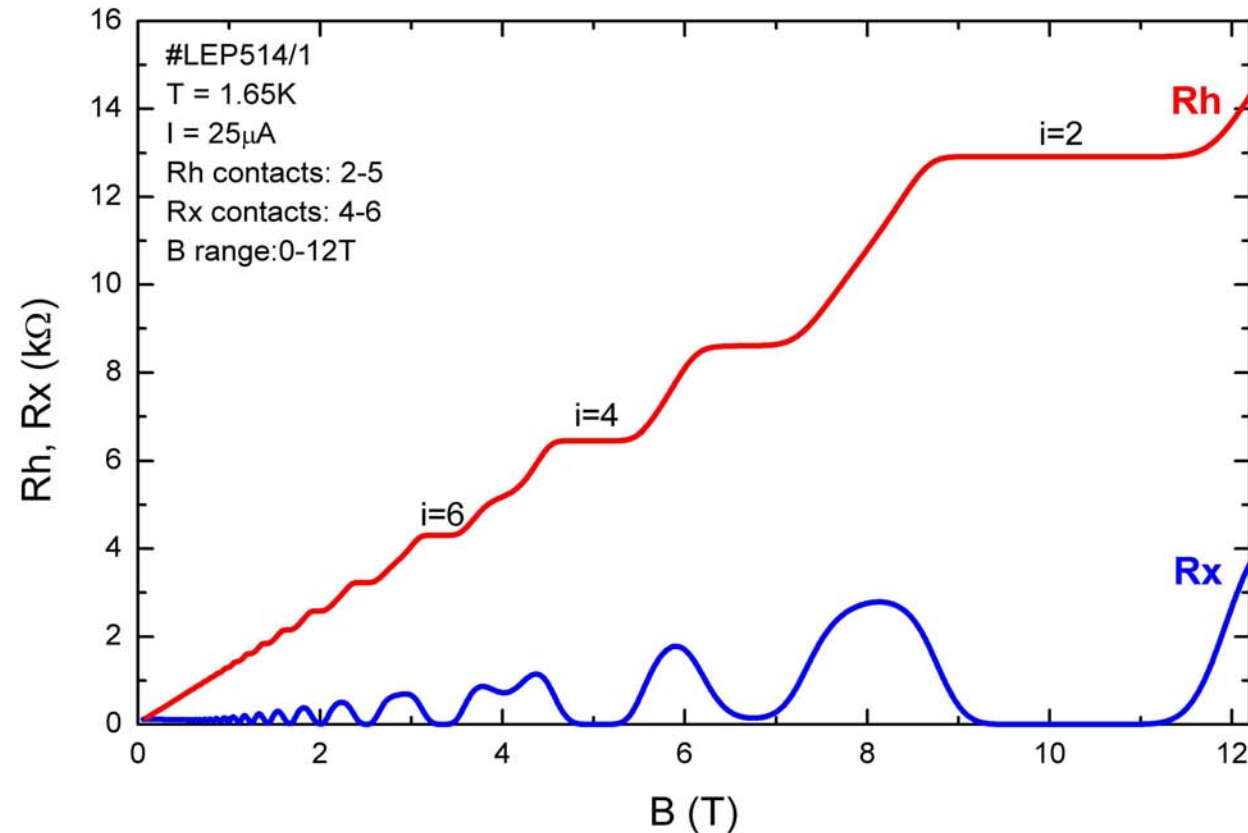
Il programma E2 "Resistenza e impedenza"

5 ricercatori, 3 tecnici, 2 in formazione



Il campione nazionale di resistenza

Riproduzione: effetto Hall quantistico (1 K, 10 T)

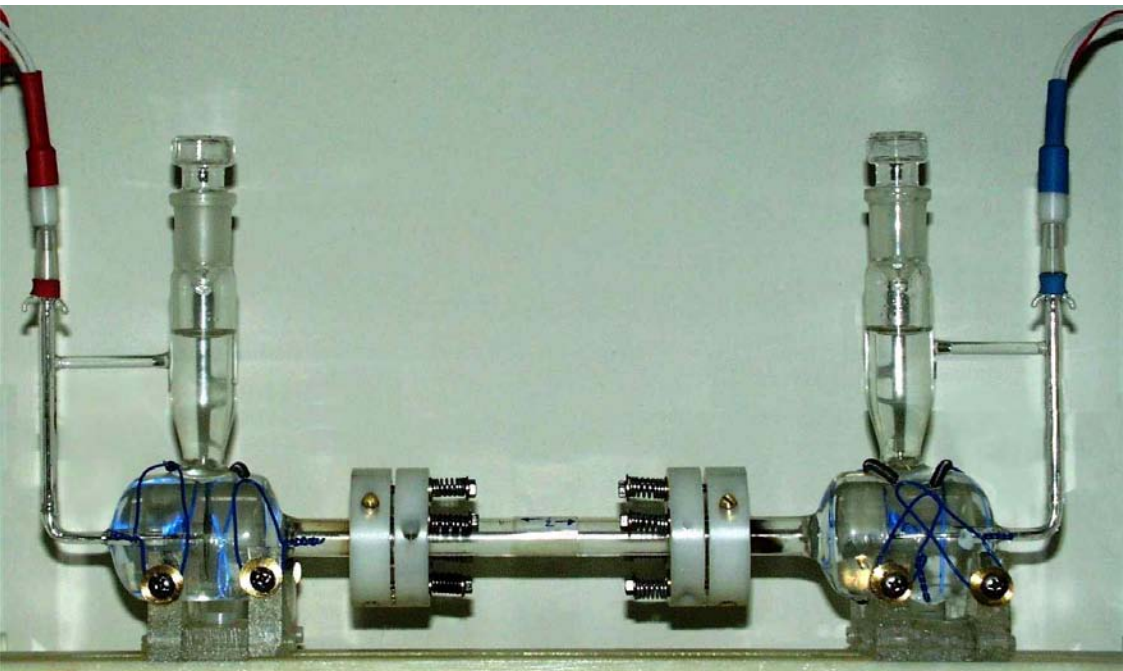


Scala: $100 \mu\Omega$ - $100 \text{ T}\Omega$

18 ordini di grandezza (dal diametro di un virus alla distanza terra-sole)

Il campione di conducibilità elettrolitica

Realizzazione: celle primarie a geometria nota



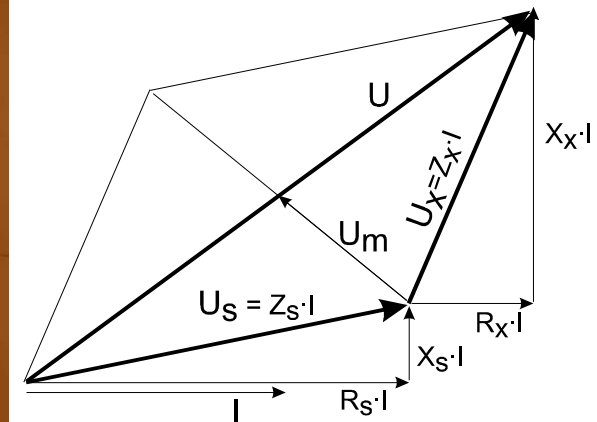
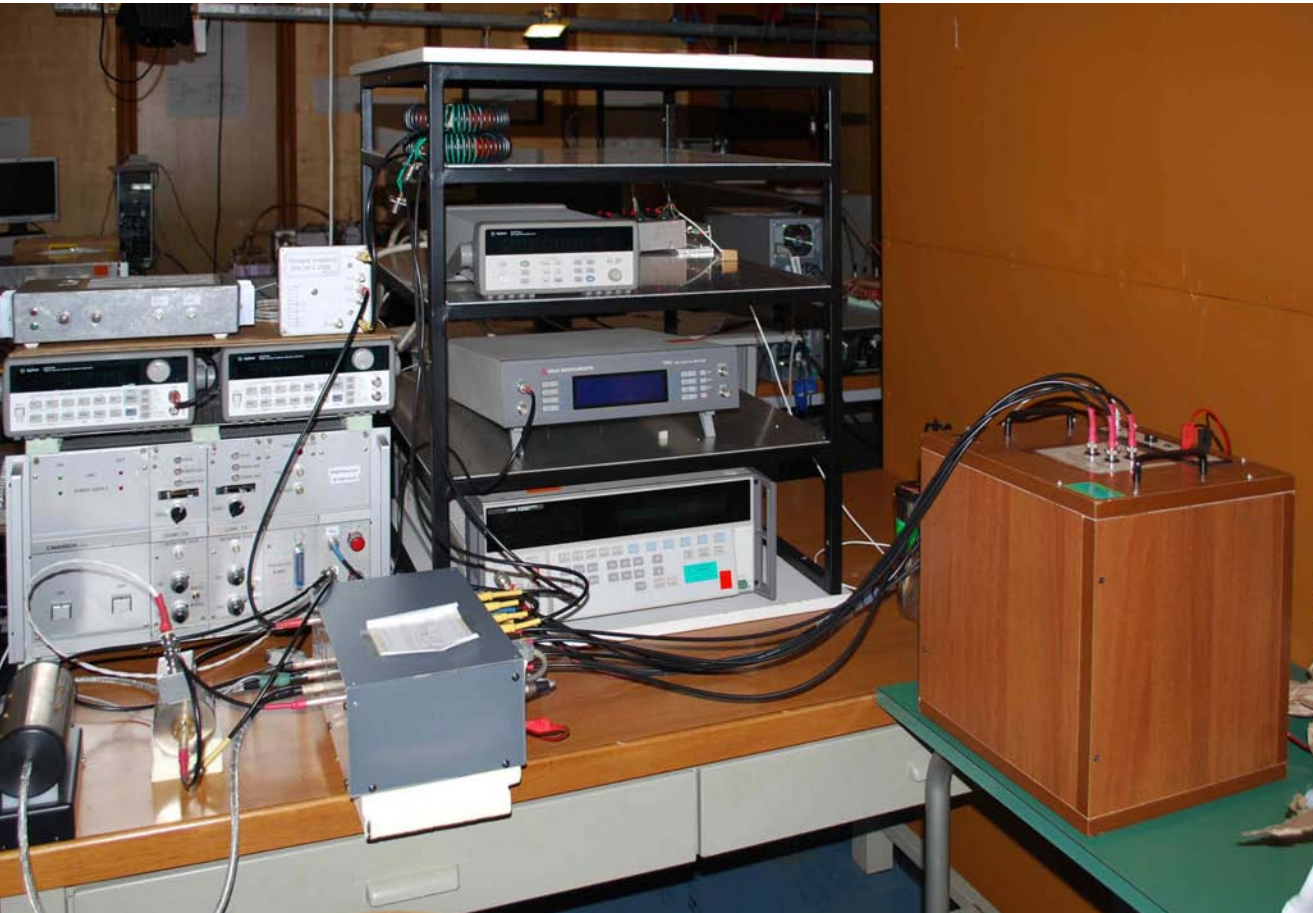
Produzione
materiali di riferimento
certificati



Il campione nazionale di induttanza

Trasferimento resistenza ac – induttanza:

Implementazione del *metodo dei tre voltmetri*



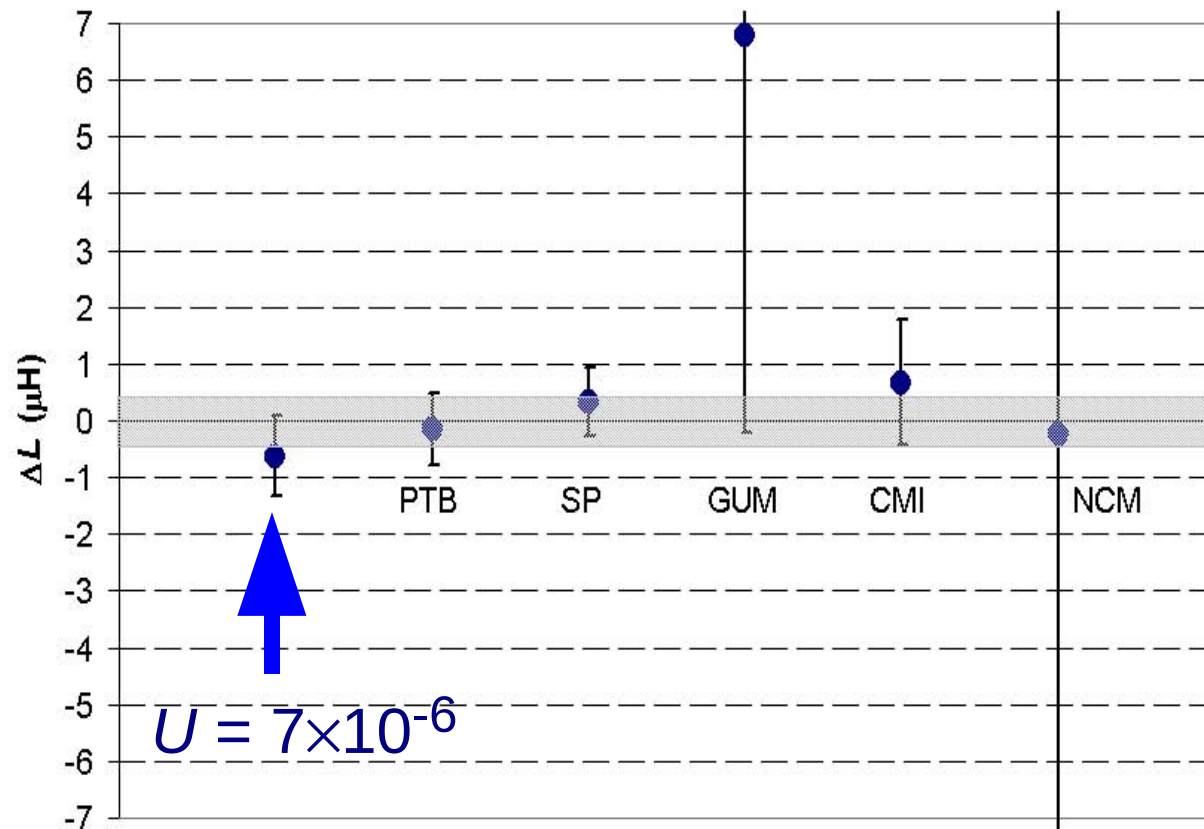
Confronto EUROMET.EM-S20, EM-S28

INRIM lab pilota

Campione viaggiatore 100 mH INRIM

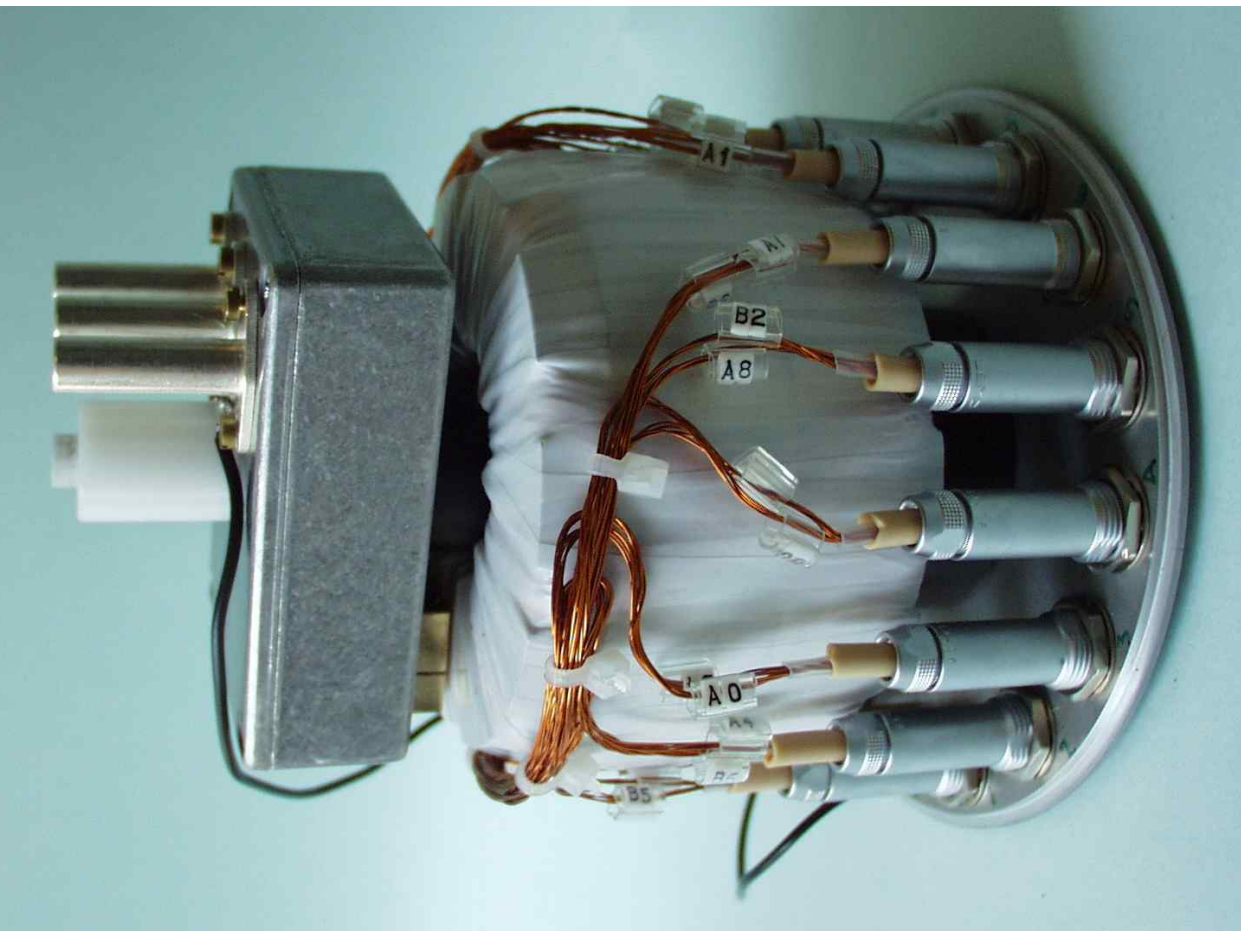
$$u_R(L_{\text{ref}}) = 5 \times 10^{-6}$$

2T series inductance differences ΔL



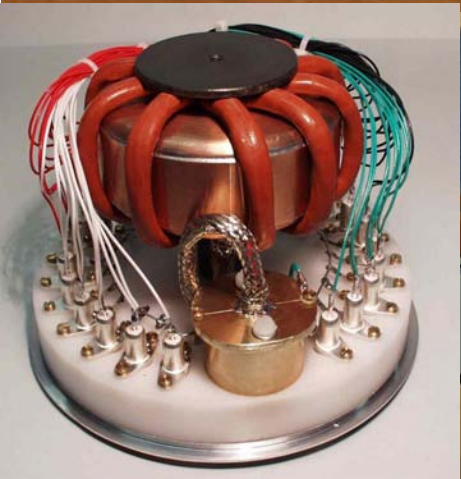
Il campione nazionale di rapporti di tensione alternata

Mantenuto da un divisore di tensione induttivo
appositamente realizzato



Il campione nazionale di rapporti di tensione alternata

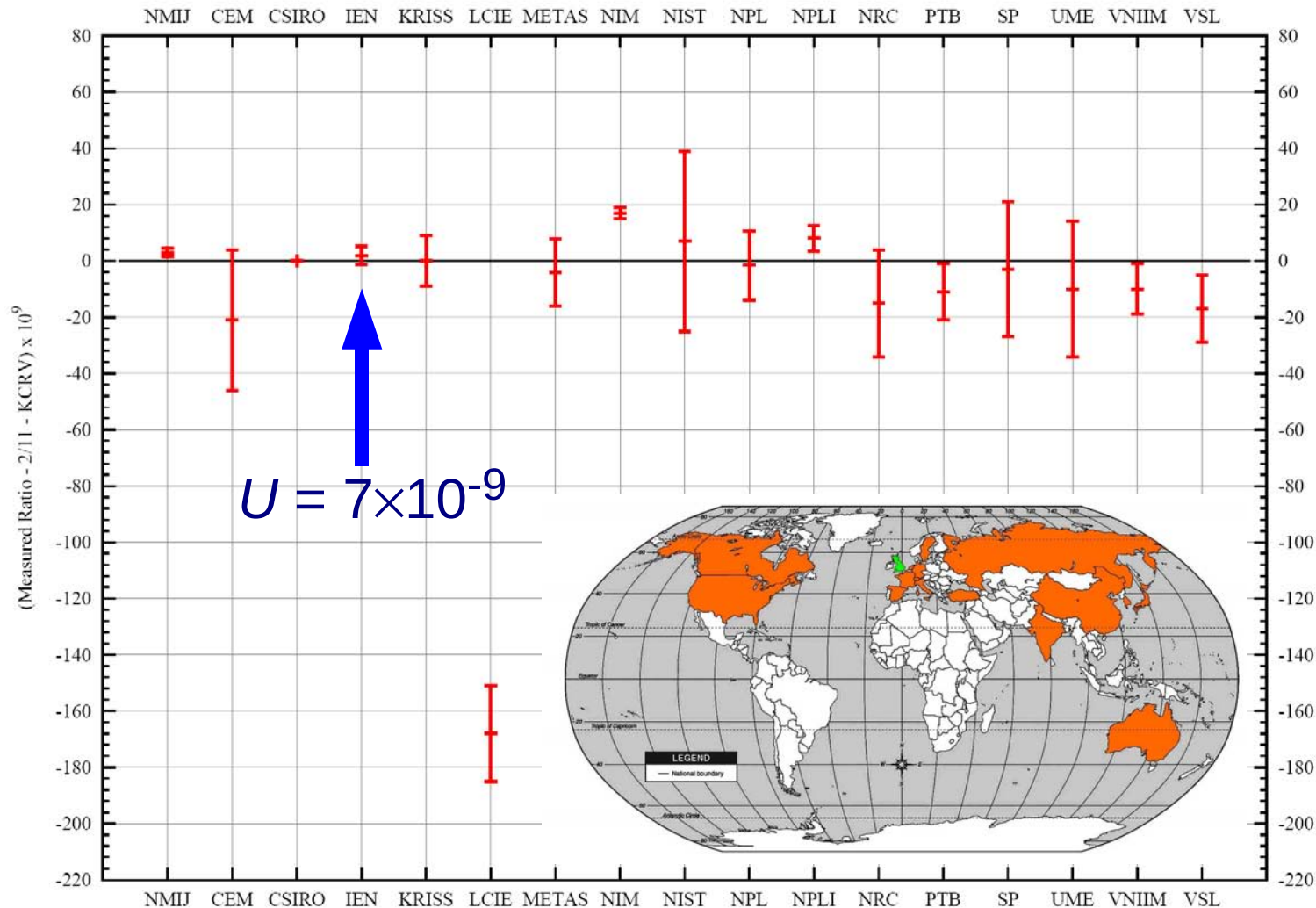
Realizzato da un sistema di autotaratura dedicato:
Metodo bootstrap *con voltmetro vettoriale* (CMRR >200 dB)



Il campione nazionale di rapporti di tensione alternata

Validato dal confronto chiave: CCEM-K7 (Draft B: apr 2011)

Nominal Ratio: 2/11 at 1 kHz, In-Phase Voltage Ratio ($KCRV \pm 2\sigma$) is $(-47.80 \pm 0.12) \times 10^{-9}$ of input

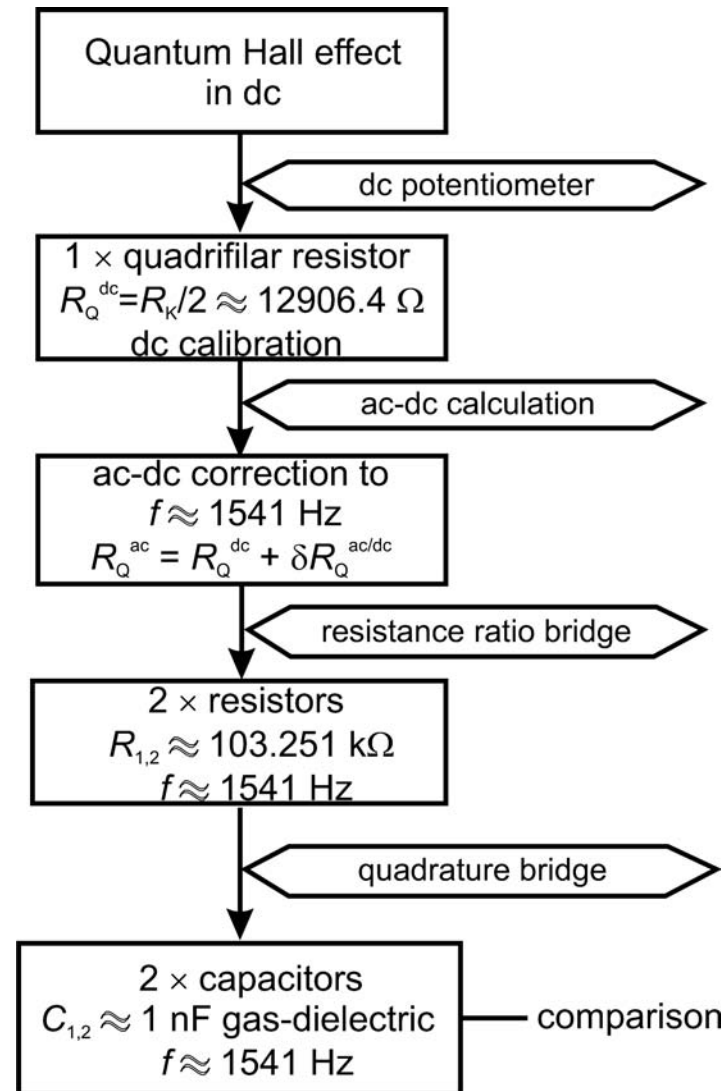


Il campione nazionale di capacità

1970-2009: campione **mantenuto**

2009: **realizzazione** del farad
a partire dall'effetto Hall quantistico
con ponti di impedenza
assistiti digitalmente

Metrologia **47**, 464 (2009)

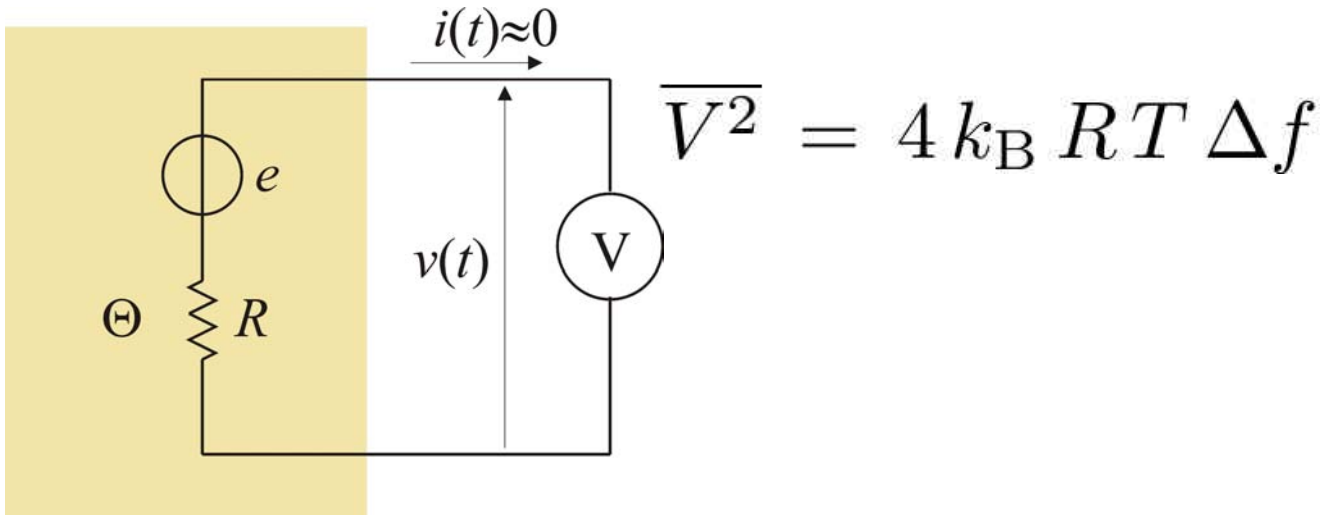


The photograph shows a complex laboratory setup for a quantum experiment, likely involving superconducting qubits. The setup is organized on a wooden table. At the top center, a microwave source with three digital displays is connected to a circulator. To the left, another circulator is connected to a waveguide assembly consisting of several rectangular components. Below the waveguide assembly, a circulator is connected to a detector. A blue cylindrical component, possibly a cryogenic container, is visible on the right. Numerous cables connect the various components, indicating a highly integrated system.

Metrologia del rumore e dei piccoli segnali

Obiettivi:

- metrologia del rumore in dispositivi attivi e passivi
- termometria a rumore Johnson
- determinazione della costante di Boltzmann

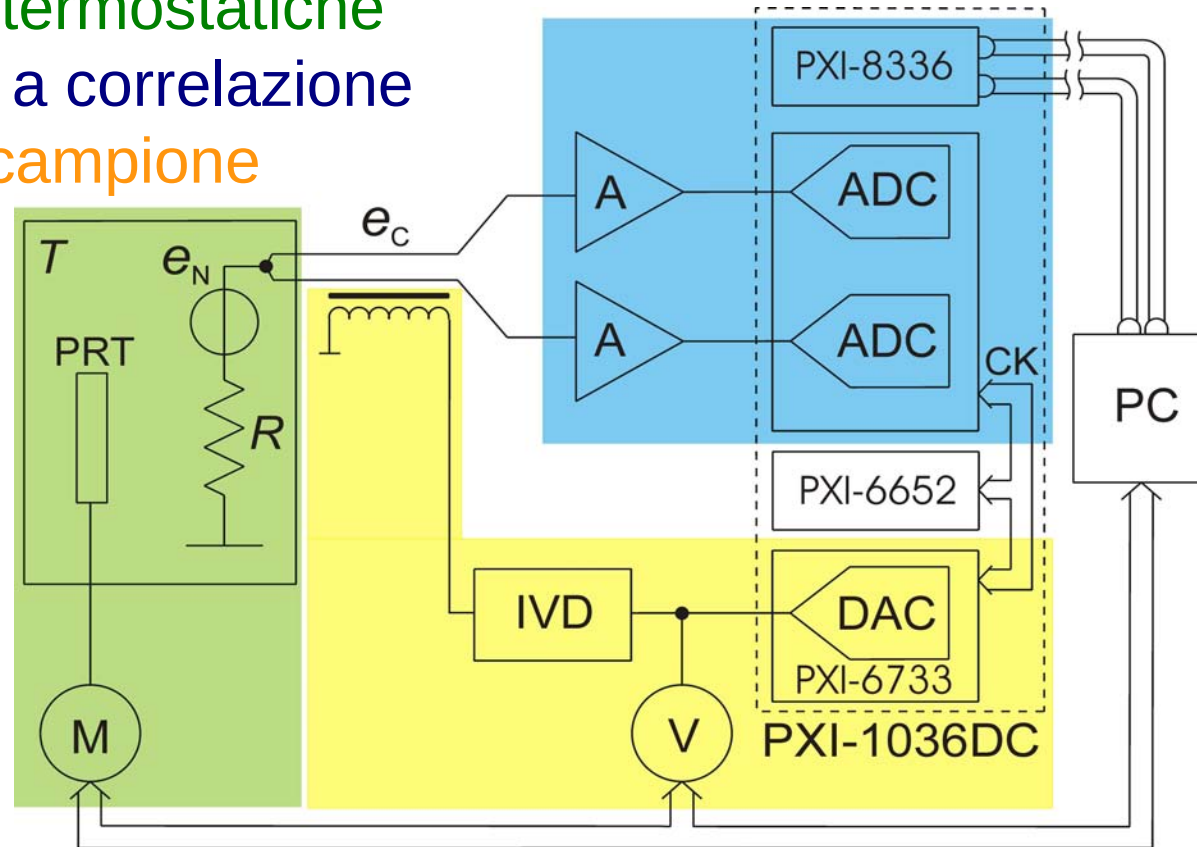


Misura della potenza di rumore trasferita
(Gedankenexperiment di Nyquist)
sensibilità zW Hz^{-1}

Metrologia del rumore elettrico: termometro a rumore Johnson

Costituito da

- resistore in condizioni termostatiche
- analizzatore di spettro a correlazione
- generatore di rumore campione



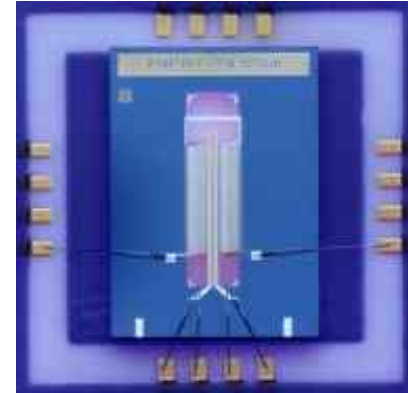
Incertezza confronto tra termometro a rumore e SPRT:
 $60 \mu\text{K K}^{-1}$ (12 mK @300 K) *Metrologia* **46**, 409 (2009)

Termometro a rumore Johnson: sviluppi futuri

Realizzazione di un nuovo termometro:

PRIN (2009-2011), in corso

- Nuovi amplificatori (stabilità 10^{-6} su 24 h)
- Nuova riferibilità a campione tensione ac con MJTC
- Nuova termometria



Prospettive incertezza (2012-13): $< 10 \mu\text{K K}^{-1}$

Impatto previsto:

validazione misure di R con AGT e DCGT

Conferma CODATA 2014 pro nuovo SI 2015

Studio rumore shot in diodi a vuoto

come possibile nuovo campione di rumore elettrico
riferito al campione di corrente continua

Grazie

Sigfrido Leschiutta,

Roma, 11 febbraio 1933 – Torino, 12 maggio 2011

Laurea in ingegneria, Politecnico di Torino, 1961

Ricercatore all'IEN, 1963

Professore Ordinario al Politecnico di Torino
coordinatore del Dottorato in Metrologia

Presidente dell'IEN (1994-2002)

Convenzione del Metro:

Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure
Comitato Consultivo Tempo e Frequenza, presidente

ASI, Consiglio Scientifico (1989-1995), presidente

ESA, delegato nazionale (1994-1996)

Accademia delle Scienze di Torino, membro ordinario

URSI, Chairman Commissione A



Sigfrido Leschiutta, metrologia del tempo

IL NUOVO CIMENTO

VOL. 37 B, N. 2

11 Febbraio 1977

Evidence for the Earth Gravitational Shift by Direct Atomic-Time-Scale Comparison (*).

L. BRIATORE

Istituto di Fisica Generale dell'Università - Torino

S. LESCHIUTTA

Istituto Elettrotecnico Nazionale « Galileo Ferraris » - Torino

Summary. — On the basis of the height difference between the CNR cosmic-ray laboratory at Plateau Rosa, 3500 m, and Turin, 250 m above s.l., a direct measurement of the terrestrial gravitational shift has been made by the comparison of the time scales of two cesium beam atomic frequency standards of the Istituto Elettrotecnico Nazionale « Galileo Ferraris ». The principle of equivalence predicts the effect $\Delta t/t = -\Delta U/c^2 = -3.54 \cdot 10^{-13}$, corresponding to the gain of the standard at mountain altitudes $\Delta t/t = 30.6$ ns/d. The results $\Delta t/t = (33.8 \pm 6.8)$ ns/d and $\Delta t/t = (36.5 \pm 5.8)$ ns/d, derived with two independent operating criteria, have been obtained from 1584 h of actual measurement, with reference to an atomic time scale whose linearity was continuously and carefully tested. The results are discussed in terms of the current gravitational theories and in view of future experimental researches, which will be permitted by the advancements of the metrology of time.

Sigfrido Leschiutta, *homo universalis*

Misure elettroniche. Strumentazione e telecomunicazioni, Pitagora, 1997

L'arte della misura del tempo presso le cortigiane e altre curiose storie sulle misure, le istituzioni e i personaggi che hanno edificato la moderna metrologia, Quad. GMEE, ed. A e T, 2008

Cembalo, spinetta e virginale, Berben, 1983

Appunti per una bibliografia sul clavicembalo, clavicordo e fortepiano, Zanibon, 1983

Il Clavicembalo, EDT, 2005

[SIGFRIDO ME FECIT] – cartiglio di un *suo* clavicembalo

SIF - International School "Metrology and fundamental constants"
Varenna, 2000



Sigfrido Leschiutta

1933 – 2011

EX LIBRIS SIGIFRIDI ET AMICORUM

