

RELAZIONE CONSUNTIVA DI ATTIVITÀ SCIENTIFICA 2019

ai sensi dell'art. 7, comma 4, lettera f. dello Statuto

Approvata dal Consiglio di Amministrazione
in data 28 aprile 2020

INDICE

PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte	5
1 – INRIM - COMPITI E MISSIONE	7
2 – INRIM - ORGANIZZAZIONE E INFRASTRUTTURE	7
3 – QUADRO DI RIFERIMENTO E INTERAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI	8
3.1 – COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI	8
3.2 – CONSORZI E CONVENZIONI CON MINISTERI, REGIONI, UNIVERSITÀ E ALTRI ENTI.....	11
3.3 – FINANZIAMENTI DA CONTRATTI NEL 2019	13
3.4 – FONDI PREMIALI MIUR PER PROGETTI DI RICERCA.....	17
3.5 – INFRASTRUTTURE DI RICERCA.....	19
4 – STATO DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ RELATIVE AL 2019	28
4.1 - RICERCA E SVILUPPO: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019.....	28
4.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019.....	33
4.3 - KNOWLEDGE TRANSFER: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019	35
4.4 – RISULTATI 2019 E CONFRONTO CON ANNI PRECEDENTI.....	38
5 – RISORSE DI PERSONALE PER L’ATTIVITÀ SCIENTIFICA	42
PARTE 2 – Schede di attività	43
1 – Direzione scientifica	45
Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica	49
Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita	54
Divisione Metrologia applicata e ingegneria.....	74
Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie	97
Appendice 1: Struttura organizzativa dell’INRiM	117
Appendice 2: Progetti EMPIR	119
Appendice 3: Altri progetti INRiM	122
Appendice 4: Convenzioni con altri Istituti e Università	127
Appendice 5: Laboratori principali	132
Appendice 6: Acronimi	134

TABELLE

Tabella 1 - Mappatura dei settori metrologici INRiM	9
Tabella 2 - INRiM – CMC	10
Tabella 3 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2019.....	13
Tabella 4 – Progetti nazionali su contratto avviati e ancora in corso nel 2019.....	15
Tabella 5– Finanziamenti ricevuti nel quinquennio 2010-2016 e già acquisiti per i prossimi anni ..	22
Tabella 6 –Pubblicazioni nel periodo 2017-2019	39
Tabella 7 – Distribuzione delle pubblicazioni 2019	39
Tabella 8 - Altri prodotti	40
Tabella 9 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica	41
Tabella 10 - Personale TI e TD (al 31/12/2019)	42
Tabella 11 – Altro personale	42
Tabella 12 - Personale TI distribuito nelle Divisioni (al 31/12/2019).....	47
Tabella 13 – Divisioni: risorse umane (TPE) per tipologia di attività	48
Tabella 1 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (2 ^a call) avviati nel 2016.....	119
Tabella 2 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (3 ^a call) avviati nel 2017	119
Tabella 3 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (4 ^a call) avviati nel 2018.....	120
Tabella 4 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (5 ^a call) avviati nel 2019.....	121
Tabella 5 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2019.....	122
Tabella 6 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2019	123
Tabella 7 - Progetti di ricerca Regionali attivi nel 2019	124
Tabella 8 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2019.....	125

PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte

1 – INRIM - COMPITI E MISSIONE

Ai sensi del decreto istitutivo¹ e dello statuto predisposto secondo il D.Lgs n. 218/2016, l'INRiM svolge e promuove la ricerca nell'ambito della metrologia, sviluppa i campioni e i metodi di misura più avanzati e le relative tecnologie, mediante i quali assolve alle funzioni di istituto metrologico primario ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273.

A tal fine, in qualità di firmatario degli accordi internazionali sulla metrologia, anche su delega delle Istituzioni competenti, e analogamente agli Istituti metrologici degli altri Paesi, l'INRiM realizza, mantiene e dissemina i campioni nazionali per le unità di misura necessari per la riferibilità e il valore legale delle misure nei settori in cui gli alti contenuti scientifico-tecnologici propri della ricerca metrologica trovano ricadute applicative di interesse nazionale.

L'INRiM promuove l'effettuazione di ricerche e la costituzione di infrastrutture di eccellenza con attenzione alle tecnologie abilitanti e/o emergenti per le sfide della società attuale che vengono proposte nei programmi europei, nazionali, delle regioni. L'INRiM inoltre valorizza, diffonde e trasferisce conoscenze e risultati della ricerca allo scopo di favorire lo sviluppo del Paese nelle sue varie componenti.

2 – INRiM - ORGANIZZAZIONE E INFRASTRUTTURE

La struttura organizzativa dell'INRiM nel 2019 è riassunta in Appendice 1.

L'INRiM ha sede a Torino in Strada delle Cacce 91 e si distribuisce su un'area di circa 13 ettari, su cui, in fasi successive, sono stati realizzati un totale di 13 edifici fuori terra e una struttura completamente interrata (galleria) che sviluppano nel loro complesso una superficie utile di 37.000 m². La proprietà dell'intera area è del Comune di Torino e il diritto di superficie scadrà nel 2077. A questa superficie sono da aggiungere 11.000 m² della sede di Corso M. D'Azeglio.

I laboratori adibiti alle diverse attività di ricerca e ai servizi di taratura, misura, prova e certificazione coprono il 70% della superficie utile. Il restante 30% è destinato a uffici, biblioteca, amministrazione, officine, servizi e infrastrutture di supporto alle attività.

Altre strutture dell'Istituto sono dislocate a Pavia (all'interno del campus dell'Università degli Studi di Pavia, Dip. di Chimica) e a Firenze (presso il Lens - European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy); in entrambi i casi il personale dell'INRiM ha a propria disposizione locali e laboratori, in parte ad uso esclusivo, in parte in condivisione con il personale degli enti ospitanti.

A novembre 2018 è stata varata una nuova articolazione delle strutture tecnico-scientifiche dell'INRiM, operativa dal 1 gennaio 2019. Le tre Divisioni della nuova struttura dell'INRiM sono:

Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)

La Divisione sviluppa la scienza delle misure e i materiali innovativi con attenzione alle ricerche e alle applicazioni nelle scienze della vita.

La Divisione cura temi quali la tutela della salute con riferimento alle applicazioni diagnostiche e terapeutiche, la qualità e sicurezza dell'alimentazione, le misurazioni biologiche e chimiche, i materiali funzionali e intelligenti, gli ultrasuoni e l'acustica.

Metrologia applicata e ingegneria (AE)

La Divisione sviluppa la scienza delle misure e le tecnologie con attenzione all'ingegneria e alle necessità industriali.

La Divisione ha il compito di realizzare e disseminare le unità di misura delle grandezze meccaniche e delle grandezze termodinamiche, nonché di disseminare le unità di misura delle grandezze elettriche.

1

D.Lgs. n.38/2004

La Divisione cura temi quali la mobilità sostenibile, il monitoraggio ambientale e il clima, l'impiego razionale dell'energia, e lo sviluppo di strumenti metrologici a supporto della crescente digitalizzazione del mondo contemporaneo.

Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

La Divisione sviluppa la scienza delle misure e le nanotecnologie con attenzione alle applicazioni quantistiche.

La Divisione ha il compito di realizzare e disseminare le unità di misura del tempo e della frequenza, delle grandezze fotometriche e delle grandezze radiometriche, nonché di realizzare le unità di misura delle grandezze elettriche.

La Divisione cura la mutua applicazione tra la metrologia e temi quali la fisica atomica e molecolare, la fotonica, l'elettronica quantistica, i dispositivi quantistici e le misurazioni quantistiche.

Ciascuna Divisione contribuirà, con le proprie specifiche competenze, alle tre missioni dell'Istituto.

Questa relazione annuale presenta i risultati conseguiti dall'INRiM nel 2019, in ottemperanza a quanto previsto dall'articolo 12, comma 2, lettera b dello Statuto.

3 – QUADRO DI RIFERIMENTO E INTERAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI

Gran parte delle attività INRiM sono integrate in iniziative e collaborazioni internazionali e nazionali, a testimoniare la valenza dinamica del modo di operare dell'Ente.

3.1 – COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

In quanto stato firmatario della Convenzione del metro (trattato internazionale firmato a Parigi il 20 maggio 1875 da 17 paesi, a cui ora aderiscono 59 stati), l'Italia ha partecipato alla 26[°] Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), che si è tenuta a Versailles dal 13 al 16 novembre 2018.

La conferenza ha approvato la revisione del Sistema Internazionale (SI), ridefinendo quattro delle sette unità di misura fondamentali in termini di costanti della natura. Le quattro unità di misura ridefinite dalla Conferenza parigina sono il chilogrammo, l'ampere, il kelvin e la mole. Per l'entrata in vigore del nuovo SI è stata scelta una data simbolica: il 20 maggio 2019, Giornata Mondiale della Metrologia, celebrazione dell'anniversario della firma della Convenzione del Metro. L'INRiM ha organizzato a Roma, il 20 novembre 2018, una conferenza stampa per presentare a livello nazionale le importanti decisioni prese a Versailles durante la 26[°] Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

Nell'ambito della Convenzione del Metro, l'INRiM partecipa alle attività del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM) e i relativi Comitati Consultivi (CC). In particolare, l'INRiM partecipa, attraverso propri rappresentanti designati, a 8 dei 10 Comitati Consultivi del CIPM. Nel 2019 il Direttore scientifico è stato un componente del CIPM e Presidente del Comitato Consultivo di Fotometria e Radiometria. La tabella seguente è la mappatura dei settori metrologici coperti dall'Istituto in parziale riferimento ai settori individuati a livello internazionale (Comitati consultivi del CIPM):

Tabella 1 - Mappatura dei settori metrologici INRiM

CC	Field	Sub-field	Struttura
EM	DC & Q. metrology	Josephson effect and DC voltage	QN, AE
		Quantum Hall effect and DC resistance	QN, AE
		Single electron tunnelling, Low DC current	QN
	Low frequency	AC/DC transfer, AC voltage and current, impedance	QN, AE
	Radiofrequencies and Microwaves	RF power, scattering parameters, RF impedance	QN, AE
	Power and energy	Electric and magnetic fields, EMC	ML
		AC power and energy	ML, QN
High voltage and current transducers, instrument transformers		AE, ML, QN	
Magnetic measurements		ML	
M	Mass&related quant.	Mass standards	AE
		Density and volume	AE
		Viscosity	AE
		Fluid flow	AE
		Force	AE
		Pressure (high and low)	AE
		Gravimetry	AE
		Hardness	AE
		Vibration	AE
L	Length	Basic length	AE
		Dimensional metrology	AE
TF	Time and Frequency	Frequency standards	QN
		Time scale	QN
PR	Photometry&Radiometry	Photometry and radiometry	QN
T	Temperature	Contact temperature measurements	AE
		Non-contact temperature measurements	AE
		Thermo-physical properties	AE
		Humidity and moisture	AE
AU V	Acoustics	Physical acoustics	AE
		Acoustic and ultrasound	ML
QM	Amount of substance	Gas analysis	AE
		Electrochemistry	QN
		Inorganic analysis	QN
		Organic analysis	AE, QN
		Bioanalysis	ML, QN
		Surface analysis	QN
		Isotope ratio	AE, ML

Dal 1999 l'INRiM aderisce al *CIPM Mutual Recognition Arrangement (MRA²)* che regola il mutuo riconoscimento dei campioni nazionali e dei certificati di taratura e di misura emessi dagli NMI dei Paesi firmatari, ponendo le basi per l'equivalenza delle misure a livello internazionale.

L'adesione al CIPM-MRA coinvolge notevoli risorse umane, strumentali e finanziarie, allo scopo di mantenere e migliorare le *Calibration and Measurement Capabilities (CMC)* pubblicate nell'appendice C del *Key Comparison Data Base (KCDB)* del BIPM (<http://www.bipm.org/kcdb>). Nell'appendice sono registrati i risultati dei confronti chiave e supplementari e le capacità di misura degli NMI, riconosciuti e validati internazionalmente dal CIPM. A marzo 2020, nel database del BIPM, l'INRiM risulta aver prodotto 403 CMC (394 in fisica e 9 in chimica).

Tabella 2 - INRiM – CMC

<i>Field</i>		2015	2016	2017	2018	2019
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	119	119	119	115	115
L	Length	43	42	43	43	43
M	Mass	69	68	61	61	62
PR	Photometry and Radiometry	23	23	23	20	20
QM	Amount of substance	12	10	9	9	9
T	Thermometry	76	97	97	100	100
TF	Time and Frequency	14	14	12	12	12
Totals		398	415	406	402	403

A livello Europeo, l'INRiM partecipa a **EURAMET** (<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. L'EURAMET coordina la cooperazione nella ricerca metrologica, nella riferibilità delle misurazioni alle unità SI, nel riconoscimento internazionale dei campioni e delle CMC dei propri membri. L'INRiM partecipa a 11 dei 12 Comitati tecnici EURAMET. Il Direttore Scientifico dell'ente nel 2019 è Vice – Presidente dell'EURAMET.

Dopo il successo dell'*European Metrology Research Programme (EMRP)*, un programma ideato nell'ambito del VII Programma Quadro promosso dalla Comunità Europea allo scopo di sostenere la collaborazione fra gli NMI europei attraverso la condivisione di progetti di ricerca comuni, dal 2014 fino al 2020 EURAMET è responsabile di un nuovo programma di ricerca denominato *European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)*. L'INRiM, in qualità di Istituto Metrologico Nazionale, coordina la partecipazione italiana insieme a università e industrie.

L'Assemblea Generale di EURAMET ha inoltre costituito sei European Metrology Networks (EMN), con il fine di rispondere alle esigenze della metrologia europea in modo coordinato, formulando strategie comuni in ambiti quali la ricerca, le infrastrutture, il trasferimento di conoscenze e lo sviluppo di servizi. L'INRiM partecipa a cinque dei sei EMN costituiti, coordinandone uno. Maggiori dettagli al proposito sono forniti nella Sezione 3.5.

Secondo lo spirito dell'accordo CIPM MRA, al fine di dare alla comunità internazionale degli NMIs una chiara prova di trasparenza e adeguatezza ai requisiti dell'accordo, l'INRiM riferisce annualmente circa il funzionamento del proprio Sistema di Gestione della Qualità al Comitato direttivo dell'EURAMET TC-Q (Comitato tecnico per la qualità).

La riunione annuale del TC-Quality si è tenuta dal 16 al 18 aprile 2019 a Lubiana (SLO) (il 16 si è tenuto lo Steering committee meeting, il 17 ed il 18 si è tenuta la riunione plenaria del TC-Q). Nel corso del meeting, sono stati valutati positivamente sia il rapporto annuale che il rapporto di rivalutazione quinquennale. La TC-Q contact person per l'Italia ha tenuto una presentazione di circa 15 minuti di fronte alla platea del TC-Q plenary meeting illustrando l'infrastruttura italiana della Qualità e la struttura e le attività del SGQ dell'INRiM. Al termine il Sistema di Gestione per la Qualità dell'INRiM ha ottenuto la "Full confidence" per i prossimi 5 anni.

INRiM partecipa inoltre al progetto EURAMET 1123 "*On site peer review*", dal 2009-10-01, in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali di Spagna (CEM – *Centro Español de Metrología*) e Portogallo (IPQ - *Instituto Português da Qualidade*) al fine di mettere in atto un piano di Peer visits annuali tra gli istituti partecipanti al progetto. Nel dicembre 2019 l'INRiM ha sostenuto con risultato positivo la sua *Peer review* annuale, condotta dagli esperti degli istituti CEM e IPQ e da un esperto dell'NPL proveniente da un istituto esterno al progetto 1123. Nel corso di due giornate i revisori hanno esaminato le attività relative al SGQ dell'INRiM, alle misure in DC, AC, e bassa frequenza, alle misure di pressione, ed alle misure sui materiali magnetici.

Sono inoltre attive numerose associazioni con gli organismi internazionali qui di seguito elencati:

- CIRP - College International pour la recherche en productique;
- CITAC - Cooperation in International Traceability of Analytical Chemistry.
- ETSI - The European Telecommunications Standards institute;
- Eurachem;
- EUSPEN - European Society for Precision Engineering and Nanotechnology.

3.2 – CONSORZI E CONVENZIONI CON MINISTERI, REGIONI, UNIVERSITÀ E ALTRI ENTI

L'INRiM collabora da lungo tempo con importanti organismi nazionali che gravitano nell'ambito della metrologia, tra i quali si segnalano:

- **CEI** – Comitato Elettrotecnico Italiano: è un ente riconosciuto dallo Stato Italiano e dall'Unione Europea per le attività normative e di divulgazione della cultura tecnico-scientifica; significativa è la partecipazione di parte del personale INRiM ai suoi Comitati;
- **UNI** - Ente Nazionale Italiano di Unificazione: è un'associazione privata, senza fine di lucro, riconosciuta dallo Stato e dall'Unione Europea; studia, elabora, approva e pubblica le norme tecniche volontarie - le cosiddette "norme UNI" - in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario (tranne in quelli elettrico ed elettrotecnico); rappresenta l'Italia presso le organizzazioni di normazione europea (CEN) e mondiale (ISO); parte del personale INRiM partecipa attivamente ai Working Groups e alle Commissioni dell'ente.

A livello nazionale, l'INRiM partecipa all'associazione *no profit* **ACCREDIA**, ente unico di accreditamento nazionale, riconosciuto dallo Stato e vigilato dal Ministero del Sviluppo Economico, fornendo supporto tecnico per l'espletamento delle attività di accreditamento dei laboratori di taratura.

Inoltre sono attive le seguenti associazioni con organismi nazionali:

- APRE - Agenzia Promozione Ricerca Europea,
- AICQ - Associazione Italiana Controllo Qualità;
- Cluster "Fabbrica intelligente", promosso dal Miur;
- Cluster "Energia", promosso dal Miur;
- Polo di Innovazione "Biotecnologie e Biomedicale" (BIOPMED) della Regione Piemonte;
- Clever – Clean (Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante nell'ambito tecnologico-applicativo per la protezione ambientale);
- Polo di Innovazione "Information & Communication Technology" (ICT) della Regione Piemonte;
- Polo di Innovazione "Meccatronica e Sistemi Avanzati di Produzione" (MESAP) della Regione Piemonte;
- Fondazione Torino Wireless;
- Unimet - Associazione Nazionale di Unificazione metalli non Ferrosi.

Per il 2019 l'INRiM ha riconfermato l'adesione al consorzio **TOP-IX**, costituito al fine di creare e gestire un NAP (Neutral Access Point, altrimenti denominato Internet Exchange – IX) per lo scambio del traffico Internet nell'area del Nord Ovest. Un ricercatore dell'INRiM è Presidente del consorzio.

L'INRiM ha inoltre proseguito la sua partecipazione al consorzio **PROPLAST**, dedicato alla promozione della cultura della plastica e gestore del Polo di Innovazione "Nuovi Materiali" della Regione Piemonte.

E' attivo il consorzio **SOC** (Space Optical Clocks), consorzio a carattere scientifico con l'obiettivo di studiare la fattibilità di una missione per l'invio di un orologio ottico sulla ISS.

Confermata anche per il 2019 l'adesione al **Consorzio Cineca**, un Consorzio Interuniversitario formato da 70 università italiane, 8 Enti di Ricerca Nazionali (tra cui CNR, INAF, INFN, OGS) e il MIUR; è attualmente considerato il maggiore centro di calcolo in Italia e uno dei più importanti a livello mondiale.

Infine è da segnalare la collaborazione con l'associazione **CMM Club Italia**, associazione senza fini di lucro composta da utilizzatori, fornitori di servizi, studiosi di metrologia, laboratori metrologici, università, professionisti e costruttori di Macchine di Misura a Coordinate. L'obiettivo principale del CMM Club Italia è sviluppare e diffondere una cultura tecnica e scientifica nel settore della metrologia dimensionale in generale e di quella a coordinate in particolare, adeguata alle esigenze di qualità e competitività delle aziende italiane.

Sono attive all'INRiM 52 convenzioni con altri Istituti e Università, nazionali e internazionali, 11 delle quali, descritte più in dettaglio qui di seguito, sono state stipulate nel 2019.

- Università degli Studi di Torino: convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata a regolamentare i rapporti di collaborazione tra i due Enti nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università;
- Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica: convenzione finalizzata all'attivazione di una borsa per il Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" (35° ciclo);
- Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica: convenzione finalizzata all'attivazione di una borsa per il Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" (35° ciclo);
- IRA/INAF Radiotelescopi - Medicina (BO) e National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo: addendum alla convenzione finalizzata a installare presso il NICT e presso la sede di Medicina (BO) dell'IRA/INAF una coppia di antenne radioastronomiche innovative, con le quali studiare il confronto tra l'orologio ottico a Itterbio dell'INRiM e quello allo Stronzio del NICT, collegati entrambi alle antenne attraverso un link coerente in fibra ottica;
- National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo: accordo di collaborazione finalizzato all'effettuazione di un esperimento su trasferimenti di tempo via satellite geostazionario tramite l'utilizzo, presso l'INRiM, del Software Ranging System (SRS) modem sviluppato dal NICT;
- Università degli Studi di Brescia (UniBS): convenzione per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga;
- Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) - Direzione generale per il mercato, la concorrenza, la tutela del consumatore e la normativa tecnica – Roma: convenzione di collaborazione scientifica per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori;
- Centro Laboratorio Energia Nucleare Applicata dell'Università di Pavia (LENA) – Pavia: accordo di collaborazione scientifica per lo svolgimento di attività di ricerca di comune interesse nel campo della Metrologia in Chimica;
- Fondazione IRCCS Istituto Neurologico "Carlo Besta" (FINCB) – Milano: accordo di collaborazione scientifica per lo sviluppo di linee di ricerca pre-clinica, clinica e tecnica nell'ambito della terapia con ultrasuoni;
- Università degli Studi di Pavia - Servizio Sicurezza e Salute, Pavia: contratto concernente le attività di sorveglianza sanitaria, di sorveglianza fisica delle radiazioni e le attività derivanti dagli obblighi per il Datore di Lavoro del D.Lgs n. 81/2008 e s.m.i. relativamente al personale dell'INRiM distaccato presso l'Università degli Studi di Pavia;
- National Institute of Metrology (China): Memorandum of Understanding (firmato il 26 novembre a

Pechino, in occasione del *China-Italy Innovation Forum*, alla presenza dei ministri dei rispettivi Paesi) per la collaborazione nell'ambito dei campioni di misura relativamente alle scienze fisiche e chimiche di base e applicate.

E' da segnalare, nell'ambito delle collaborazioni nazionali riguardanti la terza missione, un'interessante iniziativa a cui l'INRiM ha partecipato nel 2019, intitolata "Agorà Brevetti e Innovazione (Innovagorà)", promossa dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR) e organizzata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) insieme al Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci di Milano. La prima edizione della manifestazione si è tenuta dal 6 all'8 maggio 2019 presso il Museo della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci" di Milano ed è il punto di partenza di un nuovo Programma MIUR a supporto della valorizzazione dell'attività di brevettazione della ricerca pubblica italiana.

InnovAgorà è stata la prima "piazza dell'innovazione italiana", con l'obiettivo di presentare a imprese, a potenziali investitori e ai media nazionali una selezione di tecnologie brevettate generate dalla Ricerca Pubblica, le relative applicazioni e i principali benefici sotto il profilo dell'impatto in termini di innovazione, per favorirne il trasferimento tecnologico e la valorizzazione presso il tessuto imprenditoriale italiano.

L'evento si è articolato in tre giornate di esposizione e presentazione al pubblico di 170 tecnologie brevettate, selezionate tra i più promettenti risultati di ricerca di 48 atenei italiani e 13 enti di ricerca.

All'interno della rosa di brevetti proposti dall'INRiM, sono stati selezionati i brevetti "Sonda per la misura di proprietà tribologiche" e "Schermatura elettromagnetica per apparati medicali".

3.3 – FINANZIAMENTI DA CONTRATTI NEL 2019

I progetti avviati nel 2019 e quelli iniziati precedentemente e ancora in corso nel 2019 sono descritti negli Appendici 2 e 3.

Le tabelle seguenti riassumono i dati relativi ai progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2019, distinguendoli per tipologia. Vengono riportati la quantità e il valore del cofinanziamento in riferimento all'intera durata del contratto.

La tabella 3 riporta la quota di **cofinanziamento** ottenuta dall'INRiM sui **progetti europei e internazionali**.

Tabella 3 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2019

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.
Euramet (UE): EMPIR	15	2.986	33	5.942	48
H2020 (UE)	4	1.353	5	1.854	9
Internazionali	2	46	4	364	6
Totale	21	4.385	42	8.160	63

La partecipazione italiana al programma *European Metrology Programme for Innovation and Research* (EMPIR) ha comportato l'avvio di una serie di progetti in risposta alle *calls* di anno in anno proposte da Euramet.

L'INRiM ha partecipato alla seconda call EMPIR (sui temi Health, SI Broader Scope e Research Potential) con 9 progetti, avviati nel 2016 e conclusi nel 2019, per un finanziamento totale di 1,6 M€ (Tab. 1 in Appendice 2).

Con la terza call, dedicata ai temi Energy, Environment, Normative, Research Potential e Support for Impact, l'INRiM ha invece avviato 8 progetti nel 2017; l'Istituto ne coordina 4 ed ha ottenuto un finanziamento totale di circa 1,8 M€ (Tab. 2 in Appendice 2).

La quarta call, sviluppata sui temi Fundamental, Industry, Normative e Research Potential, ha portato all'INRiM un finanziamento Euramet di circa 2,6 M€, che ha permesso di avviare 16 progetti, di cui 3 coordinati dall'Istituto (Tab. 3 in Appendice 2).

Con la quinta call EMPIR, l'INRiM nel 2019 ha avviato i seguenti 15 nuovi progetti (3 in qualità di coordinatore)

nell'ambito delle tematiche Health, Networks, Normative, Research Potential e SI Broader Scope; il finanziamento Euramet ricevuto è di circa 3 M€ (maggiori dettagli sono disponibili nella Tab. 4 dell'Appendice 2).

- 18HLT06 (RaCHy): *Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept* (**coordinamento INRiM**)
- 18HLT05 (QUIERO): *Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers* (**coordinamento INRiM**)
- 18NET02 (TraceLabMed): *Support for a European Metrology Network on traceability in laboratory medicine*
- 18NET03 (SEG-Net): *Support for a European Metrology Network on smart electricity grids*
- 18NET05 (MathMet): *Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics*
- 18NRM03 (INCIPIT): *Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation* (**coordinamento INRiM**)
- 18RPT01 (ProbeTrace): *Traceability for contact probe and stylus instrument measurements*
- 18SIB01 (GeoMetre): *Large-scale dimensional measurements for geodesy*
- 18SIB02 (Real-K): *Realising the redefined kelvin*
- 18SIB04 (QuantumPascal): *Towards quantum-based realisations of the pascal*
- 18SIB05 (ROCIT): *Robust Optical Clocks for International Timescales*
- 18SIB06 (TiFOON): *Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks*
- 18SIB07 (GISQ): *Graphene impedance quantum standard*
- 18SIB08 (ComTraForce): *Comprehensive traceability for force metrology services*
- 18SIB10 (chipSCALe): *Self-calibrating photodiodes for the radiometric linkage to fundamental constants*

Nell'ambito del Programma Quadro Europeo HORIZON 2020, lanciato dalla CE per il periodo 2014-2020, nel 2019 si sono conclusi i progetti "Q-SENSE" e "CLONETS".

Sono invece ancora in corso il progetto ERC della Commissione Europea "PlusOne" (finanziato dalla CE per un valore complessivo di 1.496 k€ in 5 anni), il progetto "MIDAS" e il progetto ERC "BIORECAR".

Nel 2019 sono stati avviati i seguenti nuovi progetti Horizon 2020:

- *Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)*
- *Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)*
- *Magnetolectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetolectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)*
- *Photonic and nAnomeTric High-sensitivity biO-Sensing (PATHOS)*

Il finanziamento ottenuto dall'INRiM è stato di circa 1.350 k€ complessivamente per i 4 anni di durata dei progetti.

Sempre in ambito internazionale, sono proseguite le attività relative ai progetti "QKD" e "SEQUEL", in collaborazione con la NATO e le Università della California. E' stato invece avviato nel 2019 il progetto "Agent-based irreversibility in quantum theory (FQXi)", finanziato dalla Silicon Valley Community Foundation per un totale di 18 k€.

Di particolare rilevanza è la collaborazione con l'ESA (European Space Agency) e l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare (GSA), iniziata nel 1998 contribuendo alla definizione, sviluppo e sperimentazione del **timing del sistema di navigazione europeo Galileo**. L'INRiM ha preso parte, come laboratorio di metrologia del tempo, a tutte le fasi sperimentali del progetto Galileo.

Sono inoltre continuate le attività di validazione degli orologi di bordo e della disseminazione di UTC e GGTO (GPS to Galileo Time Offset) in collaborazione con Thales Alenia Space Italia, mentre con la società spagnola GMV è iniziata una nuova collaborazione nell'ambito della *Galileo Time and Geodetic Validation Facility (TGVF)* per la fase *Exploitation* di Galileo, che prevede un'evoluzione della precedente infrastruttura TGVF con l'obiettivo di adeguarsi alle esigenze del sistema Galileo nella fase di piena capacità operativa.

A partire dal 2018 INRiM contribuisce al *Galileo Time Service Provider (TSP)* mediante l'invio di dati di confronto via satellite fra la scala di tempo italiana ed il tempo di Galileo; tali dati sono utilizzati per mantenere la scala di tempo di Galileo in accordo con il riferimento internazionale UTC, e per la validazione di tutti gli orologi di bordo e di terra, inclusi quelli presenti presso i Centri di Controllo di Galileo.

INRiM partecipa inoltre, nell'ambito di contratti con la GSA, alla validazione degli aspetti di timing del sistema satellitare europeo **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay Service) ed insieme ad altri laboratori metrologici europei, al *Galileo Reference Center (GRC- Member states support)*, altro elemento cruciale del sistema Galileo, a supporto della fornitura di servizi utili al sistema stesso oltre che ai suoi utenti.

Sempre in ambito ESA, si è concluso nel 2019 il progetto "COATS CCN 1".

La tabella 4 riporta la quota di **cofinanziamento/finanziamento** ottenuta dall'INRiM sui **progetti nazionali, regionali e industriali**.

Tabella 4 – Progetti nazionali su contratto avviati e ancora in corso nel 2019

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.
Nazionali (inclusi MIUR)	2	80	7	1.856	9
Premiali	2	746	6	1.701	8
Regionali e Fondazioni	-	-	3	2.843	3
Industriali	10	691	11	2.959	21
Totale	14	1.517	27	9.359	41

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MIUR, nel 2019 sono proseguiti il progetto PRIN "HG Doppler Spectroscopy" e il progetto "ULTRACRYSTAL" finanziato dal MIUR con i bandi FARE (Framework per l'Attrazione e il Rafforzamento delle Eccellenze per la Ricerca in Italia). E' stato invece avviato un nuovo progetto PRIN, della durata di tre anni, dal titolo "Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control (SustMetMat)", con un finanziamento di 76 k€.

Sempre in ambito nazionale, si sono conclusi il progetto "Food authenticity: metodi analitici innovativi a tutela del consumatore" (finanziato dal Ministero della Salute) e i due progetti "Ottimizzazione del tempo (OTTEMPO)" (in collaborazione con la società Hal Service Srl e con il Consorzio TOP-IX di Torino) finanziati nell'ambito dell'omonimo progetto POR FESR promosso dalla Regione Piemonte. E' proseguita l'attività di ricerca relativa ai progetti "DTF-Galileo" e "DTF-Matera", entrambi finanziati dall'Agenzia Spaziale Italiana. E' invece stato avviato il progetto "Le ferite croniche dell'anziano: studio dell'effetto antimicrobico di nanogocce ossigenate e di modelli 3D di pelle" finanziato da CRT con 5 k€.

Per quanto riguarda la collaborazione con la Regione Piemonte, sono proseguiti i seguenti progetti, finanziati, per un totale di 2.840 k€, attraverso il Bando "INFRA-P "Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche" e il Programma Operativo Regionale POR-FESR 2014/2020:

- PiQuET - Piemonte Quantum Enabling Technology (INFRA-P): ha come obiettivo la nascita di una nuova Infrastruttura di Ricerca interdivisionale (coordinata da INRiM, con la partecipazione di

Politecnico di Torino e Università di Torino) dedicata a due ambiti fondamentali delle Tecnologie Quantistiche, ovvero lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati e gli orologi atomici e comunicazione quantistica (distribuite sul territorio tramite fibra ottica);

- *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare (INFRA-P)*: si pone l'obiettivo di garantire il rispetto delle normative internazionali e di essere di supporto alle aziende per le misure necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per l'imballaggio alimentare;
- *HOME - Hierarchical Open Manufacturing Europe (POR-FESR 2014/2020)*: progetto dedicato allo sviluppo futuro dell'industria manifatturiera in Europa.

In ambito industriale si sono conclusi i progetti *"ECOWELD+"* (commissionato da LASERLAM S.r.l.), *"Upgrade del sistema di misura TIRESIA e ripristino della funzionalità di misura della luminanza"* (commissionato da ANAS S.p.A.), *"LISA"* (finanziato da European Space Agency e Thales Alenia Space Italia), *"TTM"* (Thales Alenia Space Italia), *"Ricerca e validazione di condotti sbarre e loro accessori"* (commissionato da IAM S.r.l.) e *"Microdurometro"* (commissionato da LTF S.p.A.).

Sono proseguite invece le attività relative ai progetti *"Concessione di una licenza di sfruttamento del know-how nel settore delle misure di durezza per le scale rockwell, brinell, vickers e marten"* (commissionato da LTF S.p.A.), *"ZeroNoise"* (commissionato da TecnoLab del Lago Maggiore S.r.l.), *"Time Service Provider (TSP GSOp)"* (finanziato da GNSS tramite Spaceopal) e *"Galileo Exploitation Phase System and Service Support Activities (FOC Exploitation)"* (finanziato da ESA tramite Thales Alenia Space Italia).

Per quanto concerne i nuovi progetti di natura industriale, finanziati a partire dal 2019, si segnalano le seguenti attività di ricerca:

- *SYNERGIA*, commissionato dallo Swiss Federal Institute of Technology (ETH);
- *Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)*, finanziato da European Space Agency e Università di Pisa;
- *Design e realizzazione di celle elettrolitiche (UME-TUBITAK-CELLS)*, commissionato da TUBITAK UME (National Metrology Institute, Turchia);
- *R&D collaboration for the validation of the SMINTEBI method developed by CSEM for the indirect estimation of the radiator heat consumption (SMINTEBI-CSEM)*, finanziato dal Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique S.A. (CSEM);
- *Studio relativo all'esposizione umana a campi elettromagnetici durante i lavori sotto tensione*, finanziato dal Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI S.p.A.);
- *NGGM Proof of Concepts activities (NGGM-POC)*, commissionato da Thales Alenia Space Italia S.p.A.;
- *Realizzazione di attività di misurazione del rumore di cavitazione prodotto dall'apparecchiatura Biobang attraverso metodi ottici e acustici (Biobang)*, commissionato dall'azienda THREE-ES Srl;
- *Attività di validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)*, commissionato dall'azienda IAM Srl;
- *Certificazione laboratorio mobile (CERT.LAB.MOB.)*, finanziato da Autostrade per l'Italia S.p.A.;
- *Microanalisi FEI Inspect F, mediante la spettrometria a dispersione di energia (EDS) (MicroanalisiInspect)*, commissionato dall'azienda ITT ITALIA Srl.

Il finanziamento complessivo introitato dall'INRiM per questi progetti è di 691 k€.

3.4 – FONDI PREMIALI MIUR PER PROGETTI DI RICERCA

Il MIUR, attraverso risorse accantonate sul Fondo Ordinario, ha promosso e sostenuto l'incremento qualitativo dell'attività scientifica nell'ambito di una politica orientata a migliorare l'efficacia e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, assegnando annualmente Fondi Premiali su progetti di ricerca selezionati per merito.

Con il Decreto MIUR n. 291 del 3 maggio 2016 il MIUR ha predisposto il finanziamento Premiale complessivo di k€ 4.833,959, assegnando all'INRiM 2.154,861 k€ sulla base dei risultati della Valutazione della Qualità della Ricerca 2004-2010; e 2.679,098 k€ destinati al finanziamento di specifici progetti di ricerca, anche in collaborazione con altri enti. L'INRiM è stato coordinatore di due progetti, "MeTGeSp" (concluso nel 2017) e "Q-SecGroundSpace" la cui attività di ricerca si è conclusa nel 2019.

L'INRiM ha partecipato anche, in qualità di partner del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), ai progetti "LABMED - Laboratorio multidisciplinare del Mediterraneo", "MATER - Materiali innovativi e tecnologie efficienti per le energie rinnovabili" e "Ci&Sa - Cibo e Salute", avviati nel 2017 e conclusi nel 2019.

Con la nota MIUR n. 850 del 27 ottobre 2017 il MIUR ha predisposto il finanziamento Premiale complessivo di k€ 2.919,575, assegnando all'INRiM 2.072,872 k€ sulla base dei risultati della Valutazione della Qualità della Ricerca 2004-2010, e 846,704 k€ destinati al finanziamento di specifici progetti di ricerca, anche in collaborazione con altri enti. L'INRiM è coordinatore di due progetti, avviati nel 2018 e ancora in corso, per un finanziamento complessivo di k€ 700 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti:

Volume Photography - Volume Photography: measuring three dimensional light distributions whithout opening the box Il progetto si pone l'ambizioso obiettivo di sviluppare tecnologie complementari al fine di misurare la distribuzione della luce all'interno di strutture fotoniche mediante l'incorporazione di materiali fotoresponsivi. Ne risulterà un'immagine tridimensionale di tale distribuzione luminosa all'interno della struttura. Il concetto chiave, che rende innovativo e ambizioso questo progetto, è la possibilità di rappresentare ed estrapolare il complesso cammino della luce all'interno delle strutture fotoniche (come metamateriali, strutture plasmoniche e materiali disordinati), le cui proprietà ottiche sono determinate da locali effetti di interferenza e localizzazione del campo elettromagnetico. Misure di trasmissione o riflessione dei campioni potrebbero essere così completate da una comprensione più profonda del comportamento della luce al loro interno. L'approccio proposto prevede l'uso di diverse strategie volte allo studio di materiali e fenomeni luminosi molto diversi tra loro. Tuttavia, tutte le metodologie proposte hanno in comune l'introduzione di piccole quantità di materiali otticamente sensibili (in modo che la loro presenza non modifichi però le stesse proprietà ottiche delle strutture in esame), la loro attivazione e visualizzazione. Il progetto si propone di coprire l'analisi completa della tematica: dalla preparazione dei campioni da studiare (sistemi disordinati ed ordinati con cavità ottiche e scatteratori di diversa natura e dimensione) alla misurazione vera e propria (mediante tecniche complementari) allo studio teorico del fenomeno (avvalendosi anche di programmi di simulazione).

QUANTUMET - Novel quantum-based and spintronic sensors for a traceable metrology Il progetto si propone, attraverso ricerche nel campo della fisica quantistica dello stato solido e della spintronica, di far avanzare la metrologia quantistica delle grandezze elettriche e magnetiche a favore del loro utilizzo pratico nel mondo dell'industria. La metrologia quantistica delle grandezze elettriche è ormai matura per essere sfruttata e implementata nei laboratori di calibrazione e direttamente all'interno della strumentazione commerciale T&M. La sensoristica magnetica, fortemente utilizzata nelle applicazioni industriali, può fare un grande passo in avanti grazie all'impiego di nuovi sensori basati su effetti spintronici. Il presente progetto di ricerca si propone un piano di lavoro su tre interventi principali: 1) lo sviluppo di standard elettrici quantistici potenzialmente trasferibile a livello industriale; 2) lo sviluppo di sensori magnetici innovativi per l'industria; e 3) lo studio di nuovi effetti magnetici nello stato solido per la definizione di nuovi sensori per il nascente campo della spintronica.

L'INRiM partecipa anche, in qualità di partner del CNR, a due progetti ancora in corso, per un finanziamento complessivo pari a k€ 730 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti:

SENSEI - New sensors based solutions for sustainable de-production. Il progetto si propone di sviluppare le

tecnologie/metodologie abilitanti dianzi menzionate identificando un nuovo modello di Fabbrica Cyber-Fisica Intelligente e di applicare questo stesso modello alla gestione del fine vita dei prodotti – siano essi beni di consumo (per esempio Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), prodotti industriali secondari o prodotti derivanti dall'attività di costruzione o demolizione. Il progetto contribuirà in modo sinergico e sistemico allo sviluppo di un impianto pilota che integri in maniera automatica ed intelligente le strategie di End-of-Life (EoL) ottimali attraverso le fasi di: i) gestione delle informazioni inerenti provenienza, dati di prodotto e se del caso modalità di utilizzo lungo tutto il ciclo di vita dei prodotti a fine vita; ii) disassemblaggio dei prodotti (non affrontato nel contesto del presente progetto); iii) caratterizzazione in linea della matrice di prodotti/rifiuti tramite l'utilizzo di un'architettura multi-sensore distribuita e metrologicamente riferibile; iv) frantumazione della frazione coarse (affrontata nel contesto di questa attività progettuale solo in relazione a apparecchiature elettriche ed elettroniche); v) macro e micro sorting automatizzato; vi) recupero e valorizzazione degli scarti (non affrontato nell'ambito del presente progetto) per la stimolazione del mercato delle materie prime secondarie che possano concorrere a supportare la transizione verso un'economia circolare, in cui il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto quanto più a lungo possibile e la produzione degli scarti è ridotta al minimo.

Nano4Brain - Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease. La corteccia cerebrale è il più complesso stato della materia che sia accessibile alla nostra sperimentazione: 1 mm³ di corteccia cerebrale contiene approssimativamente 5x10⁴ neuroni. Ogni neurone supporta 10⁴ elementi computazionali elementari (le sinapsi), che sono uniti da 5 km di connessioni. Le proprietà macroscopiche della attività cerebrale, ed il comportamento degli organismi sono definiti dalla attività di questa rete, il cui sviluppo e funzione è determinato da effettori molecolari che presiedono al riconoscimento cellulare, al controllo strutturale, al controllo delle correnti ioniche e della trasmissione sinaptica. La rilevanza delle interazioni alla nanoscala sul mondo macroscopico sono esplicitate dal fatto che mutazioni puntiformi di singole proteine portano alla comparsa di gravi malattie che causano alterazioni della eccitabilità elettrica, delle funzioni cognitive, delle interazioni sociali. L'analisi di questa rete richiede il dispiegamento di tecnologie che operino ad una moltitudine di scale spaziali e che siano in grado di cogliere il divenire temporale dei processi biofisici sottostanti la funzione cerebrale. La profonda interdisciplinarietà delle neuroscienze collide con il modello classico della ricerca in ambito biologico che è appannaggio di laboratori piccoli con un limitato spettro di tecnologie. Questo progetto è nato dal desiderio di riunire sotto un tema comune laboratori attivi in campi molto diversi promuovendo l'interazione tra nanotecnologie, microelettronica, analisi computazionale informatica e ricerca in neuroscienze di base. Questa rete di ricercatori implementerà un approccio multidisciplinare per la identificazione di biomarkers molecolari e fisiologici di modelli genetici di malattie cerebrali e per la comprensione dei meccanismi cellulari alla base di queste patologie.

3.5 – INFRASTRUTTURE DI RICERCA

European Metrology Networks (EMN)

Nel corso del 2019, l'INRiM ha contribuito alla messa in opera degli European Metrology Network (EMN), reti approvate alla General Assembly di EURAMET del 2018 che costituiscono lo strumento necessario per affrontare le sfide future nelle scienze della misurazione e fornire un valore aggiunto per l'Europa.

Gli EMN infatti si propongono di analizzare le necessità della metrologia europea e globale e di rispondere a tali esigenze in modo coordinato, formulando strategie comuni in ambiti quali la ricerca, le infrastrutture, il trasferimento di conoscenze e lo sviluppo di servizi. Le reti ambiscono ad essere strutture strategiche e sostenibili, che rappresentino il punto di riferimento per le comunità tecnologico-industriali nei rispettivi specifici ambiti metrologici fornendo informazioni, contribuendo ai processi di regolamentazione e standardizzazione, promuovendo la creazione e la diffusione della scienza delle misure.

Gli European Metrology Network in cui è coinvolto l'INRiM sono i seguenti:

EMN for Quantum Technologies (EMN-Q) è coordinato dall'INRiM ed ambisce a sviluppare la metrologia necessaria per favorire lo sviluppo delle tecnologie e dei dispositivi quantistici, che rappresentano una grande opportunità e una grande sfida per l'industria e l'innovazione europee. Alcune grandi aziende hanno già iniziato a sviluppare dispositivi quantistici o hanno iniziato a integrarli nei loro prodotti. L'industria europea necessita di avere un punto di riferimento univoco per le proprie necessità metrologiche relative alle nuove tecnologie quantistiche, in particolare verso le attività di standardizzazione. La rete soddisferà queste esigenze fornendo un coordinamento attivo delle attività di ricerca metrologica europee, contribuendo a mantenere la competitività europea nel campo delle tecnologie quantistiche. L'EMN-Q concentrerà i propri sforzi su attività coerenti con gli obiettivi della Quantum Flagship europea e con le necessità industriali che si paleseranno, fornendo un efficace contributo allo sviluppo delle tecnologie quantistiche europee.

Nel corso del 2019 l'EMN-Q si è strutturato nelle sue tre sezioni (Quantum Clocks and Atomic Sensors; Quantum Electronics; Quantum Photonics), ha eletto il Chair e i tre Vice-Chair, ha creato il Contact Group per la Quantum Flagship ed ha mosso i primi passi in attività di networking e coordinamento in ambito EURAMET.

EMN on Smart Electricity Grid (EMN-SEG) vede l'adesione di 13 istituti metrologici europei e vuole costituirsi come organismo di contatto e scambio tra la comunità metrologica e gli stakeholder del sistema elettrico europeo, con lo scopo di massimizzare l'impatto delle attività di ricerca e sviluppo e di fornire risposte alle problematiche di misura relative al futuro delle reti elettriche e alla transizione energetica in corso.

Nel 2019 si è dato avvio alle attività della rete, con lo svolgimento della prima assemblea generale e del *kick-off meeting* del progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzato ad una rapida implementazione dell'EMN. Si è quindi dato avvio alla preparazione di una bozza di *Strategic Research Agenda* e a un primo censimento degli *stakeholders*. È stato delineato il progetto di una apposita piattaforma web, e sono state inoltre definite modalità e strumenti per la raccolta dati relativi ai servizi forniti dai differenti istituti metrologici, alle attività di *knowledge transfer* e al materiale per la formazione già disponibile all'interno della comunità metrologica.

EMN on Climate and Ocean Observation (ClimOcNet), coordinato da NPL, si propone di costituire una rete collaborativa in grado di fornire competenza metrologica per i numerosi stakeholder che effettuano e utilizzano misure per le osservazioni in ambito climatologico e oceanico. La rete è suddivisa in tre sezioni tematiche: Atmosphere Observation, Ocean Observation, Land and Earth Observation, coordinate rispettivamente da METAS, LNE, NPL. Il progetto EMPIR 18NET04 ForClimateOcean, a supporto dell'EMN, vede come partner interni finanziati esclusivamente i coordinatori dell'EMN e delle tre sezioni (NPL, LNE, METAS).

L'INRiM è attivo in tutte le sezioni della rete e ad essa afferiscono le persone di contatto sia della rete nel suo complesso sia delle singole sezioni. Nel 2019 i lavori dell'EMN sono ufficialmente iniziati con il *kick-off meeting*, ospitato dall'NPL il 20-21 giugno. I membri della rete hanno condotto un lavoro di identificazione preliminare dei principali stakeholder, sia a livello globale per l'intera rete, sia all'interno di ciascuno dei tre pilastri tematici.

Tra le iniziative di rilievo si segnala l'indagine online, iniziata a dicembre 2019, dedicata a tutti i membri delle comunità attive nei settori del clima e delle osservazioni oceaniche, volta all'identificazione delle necessità e delle priorità degli stakeholder.

EMN for Mathematics and Statistics, coordinato da PTB, si propone di costituire un punto di riferimento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni e convegni dedicati. La rete origina dal Centro Europeo per la Matematica e la Statistica in Metrologia (MATHMET) costituito nel 2014, di cui INRiM è membro. L'INRiM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

Il 19 e 20 giugno 2019, presso il PTB, si sono tenuti, rispettivamente, i kick off meeting dell'EMN MATHMET e del relativo JNP 18NET05 MATHMET "Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics", con l'elezione dei Chair, Vice-Chair e Secretary, la definizione della procedura per avviare progetti interni alla rete e decisioni primarie sull'operatività della rete stessa.

Il 22 novembre 2019 si è tenuta a Lisbona l'assemblea generale della rete, principalmente dedicata al processo di mapping degli stakeholder (l'EMN for Climate and Ocean Observation è stato individuato tra quelli di prioritaria importanza), alla formulazione di un progetto di rete su Measurement uncertainty training ed alla proposta di temi di comune interesse da presentare alla call EMPIR 2020. Nei giorni precedenti all'assemblea, si è tenuto, sempre a Lisbona, il workshop internazionale MathMet 2019 (<http://mathmet2019.Inec.pt/>), organizzato da MATHMET, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Instituto Português da Qualidade (IPQ), Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (Relacre) e Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). Si è trattato della quarta edizione del workshop (dopo quelle del 2010, 2014 e 2016), a cui hanno partecipato più di cento iscritti; la struttura del workshop è stata organizzata con un'alternanza di sessioni plenarie (10 invited talks) e in parallelo (l'INRiM ha partecipato attivamente all'evento con tre presentazioni).

EMN on Traceability in Laboratory Medicine, coordinato da PTB, si propone di costituire un punto di riferimento a livello europeo per i laboratori clinici che operano nel contesto della medicina di laboratorio e della diagnostica in vitro, con riferimento alla nuova Regolamentazione EU (European In-Vitro Diagnostic Device Regulation (IVDR) 2017/746), che richiede la riferibilità delle misure e dei materiali di riferimento.

L'INRiM è inoltre coinvolto nel progetto JNP 18NET02 TraceLabMed, finalizzato a favorire la rapida implementazione dell'EMN. Nel primo anno di attività dell'EMN si è lavorato sulla gestione dei rapporti con gli Stake Holder e con gli EQA provider, laboratori che organizzano confronti interlaboratori per le diagnosi in vitro, mediante seminari e meeting organizzati sia di persona che in modalità di videoconferenza tra i partner della rete. Inoltre si è avviata l'organizzazione di un workshop come sessione speciale all'interno di una conferenza internazionale.

European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)

INRiM coordina la partecipazione italiana al programma di ricerca 2014 – 2024 European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), co-finanziato dall'Unione Europea attraverso l'art.185 del trattato europeo di Lisbona. Il valore di EMPIR è 600 M€: 300 M€ da risorse nazionali e 300 M€ dall'unione europea; il 30% del cofinanziamento comunitario, 90 M€, finanzierà la partecipazione di industrie, università e istituti di ricerca. Il valore atteso della partecipazione italiana a EMPIR, 24 M€, è 7.6%.

Gli obiettivi del programma EMPIR sono: i) sviluppare conoscenze e soluzioni appropriate e integrate atte promuovere l'innovazione e la competitività; ii) sviluppare tecnologie di misura indirizzate alle sfide poste dai problemi energetici, della salute e dell'ambiente; iii) creare un sistema di ricerca integrato con adeguata massa critica e impegni a livello nazionale, europeo e internazionale; iv) realizzare infrastrutture metrologiche europee ove appropriato.

EMPIR è articolato in bandi annuali raggruppati in sei moduli:

- excellence science: ricerche di metrologia fondamentale e applicata;
- industrial leadership: attività indirizzate dall'industria e progetti di trasferimento tecnologico ritagliati sulle necessità industriali e che prefigurano un rapida applicazione;
- grand challenges (energy, health, environment): ricerche indirizzate alle sfide poste dai problemi energetici, della salute e dell'ambiente;
- prenormativa: attività di ricerca e sviluppo necessarie alla normazione e alla definizione della legislazione europea;
- research potential: attività indirizzate allo sviluppo delle risorse umane, in particolare nelle regioni della convergenza;
- impact: attività indirizzate a sviluppare l'impatto di specifici risultati ottenuti nei progetti di ricerca congiunti.

A questi moduli si è aggiunto a partire dalla call 2018 un settimo modulo di supporto alla realizzazione "European Metrology Network", strutture di coordinamento disciplinari europee che EURAMET sta promuovendo.

La tabella riporta il valore effettivo della partecipazione degli istituti metrologici (INRiM e l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA) alle call concluse del programma, e la partecipazione di altri partner industriali e scientifici italiani.

call	2014	2015	2016	2017	2018	2019
valore partecipazione NMI	1.5 M€	1.6 M€	1.8 M€	2.6 M€	3.1 M€	2 M€
percentuale partecipazione NMI	8.3%	5.6%	5.7%	8.0%	8.8%	6.5%
valore partecipazione non NMI	0.6 M€	0.45 M€	1.4 M€	1.6 M€	1.0 M€	1 M€
percentuale partecipazione non NMI	8.5%	4%	8.8%	10.5	8%	7%

Galileo Timing Research Infrastructure

L'infrastruttura sperimentale sviluppata in INRiM, con il supporto di diversi progetti ESA e EC, rappresenta la base per la ricerca, la formazione e il supporto ai progetti spaziali internazionali, sia per quanto riguarda le nuove applicazioni, sia come fucina di sperimentazione e formazione per sviluppo nuove tecnologie spaziali pre-industriali.

Nel 2019 sono continuate le attività del laboratorio DEMETRA, sviluppato nell'ambito dell'omonimo progetto H2020, e che fornisce servizi di timing principalmente basati sul segnale dei satelliti Galileo ma anche su tecniche alternative che consentono di migliorare la robustezza dei servizi offerti. In particolare grazie al servizio di disseminazione di tempo in fibra ottica, INRiM fornisce il tempo alla Borsa di Milano garantendo la massima accuratezza nella datazione delle transazioni finanziarie. Il servizio di *Time Monitoring* è stato migliorato con nuovi algoritmi dalle prestazioni più elevate, e si è conclusa una seconda fase di sperimentazione (con la partecipazione di EI Towers e RAY WAY) del servizio che consente la disseminazione del tempo via satellite geo-stazionario; per tale servizio è in via di definizione una collaborazione con BLU-Electronic.

Sono continuate le attività di analisi del comportamento degli orologi a bordo dei satelliti Galileo e sulla validazione degli aspetti di timing di Galileo, nell'ambito di contratti ESA/TAS-I.

La facility, che usufruisce di diversi contratti ESA e GSA, contribuisce allo sviluppo del sistema Galileo fornendo le competenze di metrologia del tempo necessarie per la validazione del timing del sistema, ma anche per lo studio e la sperimentazione di altri servizi di timing che possano irrobustire e sostenere lo sviluppo e la penetrazione nel mercato dei servizi offerti da sistema Galileo.

L'attuale facility ha avuto finanziamenti sia su richieste dirette di ESA (senza bando di selezione), sia su proposte dei partner rispondendo a bandi ESA e CE/H2020. A fine 2016, grazie alle competenze sviluppate nella facility, INRiM si è aggiudicato la gara per lo sviluppo e supporto del Galileo Time Service Provider (TSP) con un contratto che coprirà 10 anni di attività. Tale contratto prevede, fra le varie attività, anche la consegna giornaliera dalla facility Galileo dell'INRiM al TSP di prodotti e dati di time transfer con modalità tali da soddisfare i livelli di servizio richiesti dai termini contrattuali. Al fine di aumentare la robustezza della facility, è recentemente iniziato un nuovo irrobustimento dell'architettura dell'infrastruttura Galileo per migliorarne ulteriormente il livello di affidabilità dei servizi offerti e incrementarne la sicurezza dal punto di vista informatico.

I finanziamenti ricevuti nel periodo 2010-2019 e già previsti per l'anno 2020 sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 5– Finanziamenti ricevuti nel quinquennio 2010-2016 e già acquisiti per i prossimi anni

Anno	k€
2010	1254
2011	150
2012	76
2013	940
2014	400
2015	2000
2016	2500
2017	900
2018	610
2019	750
2020	720

Per quanto riguarda le risorse umane, annualmente l'Ente dedica all' infrastruttura ed alle attività di metrologia del tempo in ambito Galileo 30 mesi uomo all'anno di personale strutturato, più almeno 32 mesi uomo all'anno di personale non strutturato (PhD, Assegni, Borse, TD).

Nanofacility Piemonte

L'INRiM è, al momento, l'unico Istituto Nazionale di Metrologia in Europa, insieme al PTB, a possedere un centro di micro e nanofabbricazione. L'istituto vanta una pluriennale esperienza nel campo della litografia, sia ottica che laser, e nella nanolitografia a fascio elettronico, nella crescita e deposizione di film sottili e nell'attacco chimico liquido e gassoso dei materiali.

Grazie ad un contributo della Compagnia di San Paolo, dal gennaio 2010 è attivo il laboratorio Nanofacility Piemonte (www.nanofacility.it), dedicato alla nanofabbricazione mediante microscopia elettronica e ionica. La struttura tecnologica è aperta ai ricercatori di enti pubblici, accademici e del mondo industriale, e offre servizi avanzati per la nanofabbricazione sulla base di collaborazioni scientifiche e tecnologiche. Dallo stesso anno è anche attivo un servizio di prenotazione per l'accesso alla struttura tecnologica.

Nanofacility vanta oggi al suo attivo migliaia di ore di funzionamento per servizi alla ricerca sul territorio e in metrologia, e sviluppa, allo stato dell'arte, le seguenti tecnologie: Electron Beam Lithography per ogni tipo di geometrizzazione su scala nanometrica, Ion beam Sculpting per la fabbricazione di dispositivi nanoSQUIDs, dispositivi basati su whisker e nanowire, ottiche diffrattive e nanostrutture per la plasmonica e la fotonica, preparative per microscopia elettronica in trasmissione e per spettroscopie a raggi X (GISAX, NEXAFS, ecc.). Inoltre, mediante la combinazione di tecniche quali FIB, EBL e RIE, si eseguono anche lavorazioni sul diamante per la realizzazione di nanostrutture superficiali di estrazione di radiazione dai centri di luminescenza tramite nanolenti, lenti di Fresnel, nanopillars e guide d'onda. Queste tecniche, accoppiate alla litografia ottica e a quella per self-assembly di nano-oggetti su larga area, garantiscono una risoluzione che va da alcuni centimetri sino ai dieci nanometri.

In questi ultimi anni, l'impegno del personale INRiM e delle risorse di micro e nanofabbricazione di Nanofacility nei progetti EMRP e EMPIR ha ottenuto un impatto di alto livello sulla comunità metrologica europea. Da questo, ne è conseguita una forte richiesta da parte dei principali NMI europei nella fabbricazione di dispositivi, modelli e campioni di riferimento alla nanoscala.

LIFT/IQB - Link Italiano Frequenza e Tempo / Italian Quantum Backbone

L'infrastruttura di Tempo e Frequenza su Fibra (LIFT) distribuisce con stabilità e accuratezza senza precedenti segnali di tempo e frequenza campione usando fibre ottiche commerciali. LIFT porta i segnali campioni dell'INRiM in centri scientifici e industriali del paese senza degrado delle prestazioni, offrendo rispetto ad altri sistemi un sostanziale miglioramento dell'accuratezza, la stabilità, la velocità di misura e la sicurezza.

Inoltre LIFT si candida a diventare anche una dorsale nazionale per le Tecnologie Quantistiche, l'Italian Quantum Backbone (IQB), che permette di sperimentare e applicare tecnologie quantistiche su fibra ottica in campo reale, come la sensoristica e l'informazione quantistica, tra cui la distribuzione quantistica di chiavi crittografiche (Quantum Key Distribution, QKD).

Gli obiettivi di LIFT/IQB sono: i) distribuire stabilmente i segnali campione INRiM in fibra ai centri italiani e transfrontalieri per l'accesso alle reti europee; ii) creare un sistema che dalla dorsale arrivi in siti secondari, per costruire una piattaforma tempo/frequenza di qualità superiore in Italia; iii) offrire un'infrastruttura per la ricerca di eccellenza su metrologia, informazione (crittografia) e sensing quantistici in campo reale iv) usare in modo innovativo le tecniche interferometriche, per esempio con Twin Field QKD e con la rivelazione sismologica; v) per metrologia primaria, costituire una rete stabile tra i quattro NMI europei principali (PTB, LNE-SYRTE, NPL e INRiM) per il confronto ripetuto di orologi ottici, nell'ottica della ridefinizione del secondo SI e della creazione di scale internazionali di tempo più accurate vi) contribuire attivamente alle iniziative delle reti europee della Quantum Communication Infrastructure e alla rete europea di link per tempo e frequenza

LIFT/IQB distribuisce segnali di riferimento degli orologi atomici dell'INRiM con tecniche coerenti e per i segnali di time-stamping anche in modulazione di ampiezza (PTP e White Rabbit-PTP); la ricerca elabora metodi innovativi, in particolare in coesistenza con le tecniche di trasmissione ottica dei dati, in particolare tramite la

collaborazione con Politecnico di Torino, Fondazione Links di Torino. Le radiazioni laser ultrastabili, il controllo del rumore di fase ottico sulla fibra e del rumore di polarizzazione permettono anche di supportare distribuzioni quantistiche di entanglement e QKD, oltre a sviluppare la sensoristica quantistica e classica (geodesia relativistica, sismologia). LIFT/IDQ è idonea per la ricerca e la distribuzione di singoli fotoni anche a lunga distanza, con i primi risultati pubblicati nel 2019.

Nel 2019, LIFT/IDQ si inserisce nell'iniziativa della Commissione Europea di una European Quantum Communication Infrastructure³. LIFT/IDQ comincia a pubblicare i primi risultati su QKD e distribuzione di entanglement in collaborazioni internazionali con Austria, Malta, Danimarca e Italia^{4,5}. LIFT/IDQ guarda all'Europa, e nel 2019 è stato completato il collegamento tra l'INRiM a Torino e gli Istituti Metrologici Nazionali di Francia, Germania e UK, con cui si cominceranno nel 2020 innanzitutto i confronti tra campioni primari di tempo e frequenza (link Torino-Parigi-Braunschweig-Teddington tra INRiM, OP, PTB e NPL).

Si evidenzia pertanto il ruolo istituzionale di LIFT/IDQ per INRiM, centro di eccellenza scientifica e istituto primario metrologico. Inoltre, il collegamento LIFT con la stazione VLBI di Medicina, ha permesso il primo confronto internazionale con fibra ottica e radioastronomia (tra gli orologi ottici di INRiM e NICT in Giappone). Anche le collaborazioni nazionali di LIFT/IDQ evidenziano lo stesso ruolo istituzionale. LIFT/IDQ nel 2019 collega gli osservatori radioastronomici INAF di Medicina (Bologna) e dal 2019 il centro di geodesia spaziale a Matera (ASI); sempre dal 2019, il centro di controllo di terra degli orologi del sistema satellitare Galileo al Fucino e le aziende di aerospaziali di eccellenza (Telespazio, Thales Alenia Space Italia e Leonardo); sedi finanziarie (Torino e Milano); centri di eccellenza scientifica (LENS, CNR-INO di Firenze e Napoli); i centri di sismologia e sensoristica in ambiente terrestre e marino.

Nel 2019, l'infrastruttura di ricerca è stata operativa su tutti i 1850 km, dal confine francese a Matera, passando per Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli. Si sono realizzate le prime campagne di geodesia VLBI in regime di common clock possibile solo tramite LIFT, dando lo stesso standard di tempo e frequenza alle stazioni VLBI di Medicina e Matera; sono stati accesi i primi collegamenti per la ricerca industriale; sono stati osservati i primi segnali per lo sviluppo su tutta la rete di comunicazione quantistica e i primi segnali per una rete europea di confronti internazionali di tempo e frequenza.

Piemonte Quantum Enabling Technologies (PiQuET)

La Commissione Europea con la Quantum Technology Flagship finanzia la ricerca sulle tecnologie quantistiche (TQ): l'INRiM vuole cogliere questa occasione per uno sviluppo economico duraturo attraverso l'innovazione e la ricerca, con un investimento che potenzi il know-how già presente, induca un forte trasferimento tecnologico, attragga risorse nazionali/europee e crei una robusta filiera produttiva, per affermarsi come eccellenza nei prossimi 10 anni. Nasce così l'iniziativa della nuova Infrastruttura di Ricerca Piemonte Quantum Enabling Technologies, PiQuET, coordinata da INRiM con la partecipazione di Politecnico (PoliTO) e Università (UniTO) di Torino, progetto co-finanziato dal Programma Operativo Regionale Piemonte Fesr 2014/2020 attraverso il Bando "INFRA-P Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche". PiQuET si classifica terzo su un totale di 26 proposte regionali (con punteggio di 111, dopo il primo a 113 punti e il secondo a 112).

INRiM, PoliTO e UniTO (in seguito Organismi di Ricerca, OdR) operano in due settori chiave delle TQ: (i) lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati (ii) le TQ legate ad orologi atomici e comunicazione quantistica, distribuite sul territorio tramite fibra ottica. PiQuET ricerca l'eccellenza nel settore:

- con un'IR moderna, centralizzata e condivisa per la nanofabbricazione di sensori, dispositivi e materiali e la loro integrazione;
- con un'IR sul territorio per la metrologia e la comunicazione quantistica, che si avvale del polo di nano fabbricazione;

³ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-quantum-eu-countries-plan-ultra-secure-communication-network>

⁴ S. Wengerowsky et al., "Entanglement distribution over a 96-km-long submarine optical fiber", PNAS 116, 6684 (2019)

⁵ D. Bacco et al., "Field trial of a three-state quantum key distribution scheme in the Florence metropolitan area", EPJ Quantum Technol., 6, 5 (2019)

- con la collaborazione tra OdR e industria, favorendo nuova occupazione.

Lo sviluppo delle tecnologie quantistiche in PiQuET segue due linee fondamentali: da un lato l'applicazione sempre più estesa di principi fisici del mondo quantistico, dall'altro la miniaturizzazione dei dispositivi. Alcuni principi quantistici sono già presenti in alcuni dei nostri dispositivi (come i microscopi a effetto tunnel) mentre altri (sovrapposizione quantistica, entanglement) sono alla base dei campioni atomici di frequenza o della comunicazione quantistica, dove si hanno i primi sviluppi commerciali.

PiQuET offre i benefici della nanofabbricazione, con dispositivi integrati, prestazioni migliori e costi ridotti rispetto alle prime realizzazioni in tecnologie "bulk" non integrate. D'altro canto, la nanofabbricazione potrà incorporare i principi quantistici più complessi, che possono potenziare e trasformare i materiali e i dispositivi finora prodotti.

Per INRiM, PiQuET nasce come progetto d'istituto, quindi interdivisionale, carattere confermato dalla riorganizzazione del 2019. Infatti, il coinvolgimento delle Divisioni di Metrologia Quantistica e quella di Materiali Avanzati è consolidato; anche la Divisione di Ingegneria Applicata trova in PiQuET una struttura di potenziale interesse, nello sviluppo di sensori integrati, per esempio quelli basati su tecnologia MEMS e in fibra ottica.

Elemento centrale di PiQuET è l'impianto di camera pulita da 500 m² (6 ambienti ISO7) ad alto controllo della qualità ambientale e dei contaminanti, secondo i moderni criteri ISO 14644-1 (vedi par. 1.7), in cui PiQuET:

- Aggrega in un solo luogo macchine conferite dagli OdR, oggi sparse in 4 laboratori (Chivasso, INRiM Torino Sud, Torino Crocetta, PolITO) che pur capaci di uso integrato, oggi lavorano disaggregate;
- Crea un'IR allo stato-dell'arte per la ricerca, in luogo di camere pulite non moderne e frammentate, che impediscono processi più moderni;
- Abilita nuove linee di ricerca per i dispositivi di comunicazione quantistica e di campioni atomici di frequenza miniaturizzati.

INRiM come ente capofila del progetto acquisirà la camera pulita cuore dell'infrastruttura. Inoltre, INRiM acquisisce due strumenti per la comunicazione quantistica: un sistema di Quantum Key Distribution Cerberis Blades della IDQuantique, progettato per l'integrazione della QKD su reti in fibra ottica e un sistema "trusted node" per test sull'infrastruttura di Ricerca dell'estensione a lungo raggio delle tecniche di Quantum Communication e a crittografia ibrida classica/quantistica. Infine, INRiM valuterà quali strumenti a propria disposizione ritiene sia opportuno trasferire nella nuova infrastruttura in una logica di razionalizzazione e abilitazione dei processi di lavorazione.

Il Politecnico di Torino acquisisce e insedia nella camera pulita quattro strumenti per la nanofabbricazione: un sistema di stampa polimerica sub-micrometrica a 2 fotoni; un sistema ICP-Reactive Ion Etcher con Helium Back-side cooling, end-point detector (dry etching di film sottili); un Dual-Beam FIB/E-beam Lithography (litografia avanzata); un 3D Measuring Laser Microscope (profilometria 3D non a contatto). Inoltre, il Politecnico conferirà a PiQuET una selezione delle proprie macchine già a disposizione, scelta in base all'utilità per lo sviluppo di filiere integrate di lavorazione.

L'Università di Torino nel 2018 ha acquistato un Criostato Ottico che permette di porre i dispositivi micro/nanostrutturati per le comunicazioni quantistiche (per es. generatori o rivelatori di singolo fotone) in un ambiente protetto a basso rumore ambientale. Nel 2019, questo strumento è un'eccellenza in Italia ed è stato collocato in INRiM in attesa della destinazione finale nella camera pulita. Le prime campagne di misura sono state eseguite.

Dettaglio progetto di investimento:

- Totale spesa presentata: € 6.000.000,00 (INRiM: € 3.800.000; POLITO: € 1.800.000; UNITO: € 400.000)
- Totale spesa ammessa: € 6.000.000,00 (INRiM: € 3.800.000; POLITO: € 1.800.000; UNITO: € 400.000)
- Contributo concedibile: € 3.000.000,00 (INRiM: € 1.900.000; POLITO: € 900.000; UNITO: € 200.000)

INRiM, Politecnico e Università di Torino sono legate da un'Associazione Temporanea di Scopo presieduta dal Presidente INRiM per la realizzazione del progetto; nel 2018 INRiM ha formato il Gruppo di Gestione PiQuET.

Nel 2019, il progetto per cause di forza maggiore ha ricollocato la sede di intervento, dagli spazi di TNE dell'ex Fiat di corso Settembrini a Torino (individuate con un processo formalizzato nel 2018) al Campus dell'INRiM,

dove un'analisi partecipata con il Consiglio di Amministrazione, il Consiglio Scientifico, il Direttore Scientifico, il Direttore Generale e il personale ha individuato l'opportunità di trasformare i locali dell'Officina Centralizzata INRiM nell'edificio che ospiterà la Camera Pulita di PiQuET. Questa scelta si rende disponibile per la concomitante nascita di una nuova officina centralizzata nell'area di ricerca dove si trova il campus INRiM, su iniziativa CNR e INFN, che rappresenta un'opportunità di grande sinergia anche per INRiM.

In questa complessa situazione, lo stato del progetto e le sue potenzialità sono state ripresentate in tutte le sedi istituzionali: Consiglio di Amministrazione (Gennaio e Marzo 2019), Consiglio di Direzione (25 Febbraio, quest'ultimo non esistente nel 2017 quando il progetto fu presentato), Consiglio Scientifico (12 Marzo), raccogliendo in ogni sede la conferma della validità del progetto per la strategia scientifica ed istituzionale dell'INRiM. Lo stato di PiQuET è stato nell'occasione presentato a tutto il personale il 25 Marzo 2019. Da aprile, l'avanzamento del progetto è stato illustrato a richiesta in ogni Consiglio di Amministrazione.

A marzo 2019, ricollocata la sede di intervento, ha avuto inizio la progettazione per il capitolato tecnico della camera pulita. Per questa fase, il Coordinatore Scientifico di concerto con il co-proponente ha riunito in un unico gruppo di lavoro i componenti dei due tavoli già costituiti nel 2018, quello per l'elaborazione scientifica del progetto e quello tecnico per le questioni inerenti alla camera pulita e alle macchine da installare. Insieme alle controparti di Polito e Unito si è dato avvio al capitolato della camera.

La gara per la camera pulita è stata completata, l'appalto assegnato e i lavori sono iniziati. Di pari passo, anche l'adeguamento dei locali della sede di intervento è stato avviato dopo relativa gara d'appalto. Inoltre, nel 2019 è stato completato l'acquisto del sistema di Quantum Key Distribution Cerberis Blades e istruita la gara europea per il sistema "trusted node".

Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA)

IMPreSA ha l'obiettivo di garantire il rispetto delle normative internazionali e di essere di supporto alle aziende per le misure necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per l'imballaggio alimentare. Essa fornirà un supporto ai soggetti attivi nel settore che devono rispondere sia alle richieste di verifica da parte delle autorità di controllo sia alla tutela del consumatore.

L'infrastruttura, al fine di garantire la sicurezza alimentare, fornirà competenze scientifiche, strumentazione analitica e supporto metrologico per il controllo e lo sviluppo di materiali destinati all'imballaggio alimentare.

Le due macro-aree d'interesse sono:

- controllo e sicurezza: determinazione di sostanze non intenzionalmente aggiunte nel materiale di imballaggio (NIAS, Non-Intentionally Added Substances) e della loro possibile migrazione negli alimenti;
- sviluppo di nuovi materiali: sviluppo di materiali di imballaggio attivi per aumentare la shelf-life dei prodotti e garantire la sicurezza alimentare.

L'INRiM come ente capofila del progetto metterà a disposizione spazi e impianti per realizzare l'infrastruttura, e darà il supporto metrologico. Coordinerà i diversi partecipanti del progetto sia dal punto di vista scientifico/tecnologico sia dal punto di vista finanziario, garantendo lo svolgimento del progetto e la verifica dei risultati ottenuti.

IMPreSA ha l'ambizione di diventare un centro nazionale dedicato al food packaging di supporto alle aziende e agli enti di controllo. La nuova IR incentiverà la possibilità di finanziarsi sia a livello locale sia europeo. L'acquisizione di strumentazione all'avanguardia permetterà all'IR di raggiungere livelli di eccellenza.

Dettaglio progetto di investimento:

- Totale spesa presentata: € 1.680.000,00
- Totale spesa ammessa: € 1.680.000,00
- Contributo concedibile: € 840.000,00

Le informazioni relative all'attività svolta nel 2019 sono state dettagliate nel consuntivo di IMPreSA 2018,

sottomesso all'attenzione dell'amministrazione nel marzo 2019.

A maggio 2019 è stato comunicato che le procedure per l'assegnazione dell'appalto per i lavori di PiQuET e IMPreSA verranno accorpate e si prevede che i lavori verranno ultimati entro il 15 dicembre.

A seguito di un incontro con i partner del progetto, si è deciso di sondare le possibilità sulla forma giuridica che dovrà avere il consorzio dopo la fine del progetto e di cercare di sfruttare i voucher che la Regione Piemonte metterà a disposizione delle imprese (tramite bando) per promuovere l'utilizzo delle infrastrutture.

Nel corso dell'anno, l'interazione fra la struttura scientifica e quella tecnica di IMPreSA ha permesso di individuare le necessità (impianti elettrici ed idraulici, gas tecnici, impianto di condizionamento) per l'allestimento del laboratorio di IMPreSA e progettare la distribuzione degli strumenti con relativi impianti negli spazi che ospiteranno IMPreSA.

Nel mese di giugno il responsabile generale del progetto, su richiesta del Direttore Generale, ha espresso il suo grado di soddisfazione relativamente all'efficacia della creazione del gruppo di progetto e del project manager che lo assistono nella gestione di IMPreSA. Il parere espresso è stato molto favorevole al gruppo di lavoro e il team è stato valutato con un voto pari a 5 (in una scala da 1 a 5).

Sempre nel mese di giugno, è stata fatta da INRiM una richiesta di variazione per progetto IMPreSA. In particolare è stato chiesto di accogliere una modifica dei locali destinati all'infrastruttura: per ragioni pratiche e logistiche, nonché per una valorizzazione dell'infrastruttura che risulti il più proficua possibile, si è ritenuto opportuno destinare a IMPreSA, anziché due locali separati, come previsto in fase di proposta progettuale, un unico locale, adibito a laboratori/ufficio e ubicato nella stessa palazzina e sullo stesso piano dei due locali individuati in precedenza. Il nuovo locale è risultato essere più idoneo grazie ad impianti più efficienti e al maggior spazio a disposizione. Essendo l'ubicazione la medesima, il valore di mercato complessivo risulterà sostanzialmente invariato. La variazione comporterà anche una richiesta di proroga della durata del progetto pari a 6 mesi, poiché il nuovo locale individuato per ospitare l'infrastruttura necessiterà di alcuni lavori di manutenzione. In data 29/08/2019 Finpiemonte ha comunicato l'accettazione della proroga per la scadenza del finanziamento al 10 Novembre 2020, subordinata all'invio di documentazione attestante l'interesse di potenziali beneficiari dell'infrastruttura stessa.

Nell'autunno del 2019 la gara di appalto per i lavori di adeguamento dei locali di IMPreSA e PiQuET è stata vinta da SITAL impianti. L'interazione fra la struttura tecnico scientifica dell'INRiM e l'azienda ha permesso di definire una planimetria ed un progetto definitivi.

In data 14/11/2019, a seguito di richiesta da parte di Finpiemonte, l'INRiM ha presentato una seconda rendicontazione del progetto, il cui esame si è concluso con esito positivo in data 27/11/2019.

IMpreSA ed i servizi che saranno offerti dall'infrastruttura sono stati presentati durante l'Evento Bando voucher organizzato dall'INRiM a novembre 2019 (Convegno Misure, Imprese, Futuro).

Stato degli acquisti:

Spettrometro di massa a alta risoluzione con plasma accoppiato induttivamente SP-ICP-HRMS: il 3 ottobre 2019 è stato stipulato il contratto di appalto con l'operatore economico Thermo Fisher. Lo strumento è stato consegnato in data 19/12/2019 ed è stato collocato temporaneamente, ancora imballato, nell'atrio al secondo piano fra l'edificio A e l'edificio B.

Spettrometro a risonanza magnetica nucleare NMR: il 12 dicembre 2019 la fornitura è stata aggiudicata in via definitiva ed immediatamente efficace a Bruker Italia srl, a cui il 19 dicembre 2019 è stato inviato il contratto per la stipula.

Spettrometro di massa LC-Ion Trap Orbitrap: il 19 dicembre 2019 la fornitura è stata aggiudicata in via definitiva ed immediatamente efficace a Thermo Fisher.

Spettrometro di massa per analisi di rapporti isotopici IRMS: nel corso dell'anno sono state effettuate indagini di mercato mirate ad individuare i fornitori presenti sul mercato in grado di offrire uno strumento con le prestazioni richieste per lo svolgimento delle attività previste da IMPreSA.

4 – STATO DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ RELATIVE AL 2019

4.1 - RICERCA E SVILUPPO: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019

Il lavoro descrive una tecnica di fabbricazione di membrane altamente diffusive ottenute per separazione di fase di polistirene indotta da vapore acqueo a pressione e temperatura ambiente. Le membrane mostrano la più alta forza di scattering riportata in letteratura per questa classe di materiali. Applicando un plasma freddo la membrana passa da idrofobica a super-idrofilica permettendo applicazioni di monitoraggio ottico in tempo reale del respiro o dell'umidità.

W. Zou, L. Pattelli*, J. Guo, S. Yang, M. Yang, N. Zhao, J. Xu, D.S. Wiersma, Biomimetic Polymer Film with Brilliant Brightness Using a One-Step Water Vapor-Induced Phase Separation Method. Advanced Functional Materials 29(23), 1808885 (2019) (IF 15.6)*

In questo lavoro è stata investigata l'influenza dell'umidità sulle proprietà di conduzione elettrica dello ZnO. Per tale scopo, sono state condotte misure elettriche in ambiente ad umidità controllata su singoli nanofili di ZnO e su film policristallini di ZnO caratterizzati da diversa dimensione dei grani. I risultati hanno mostrato come, oltre ad influenzare il meccanismo di trasporto elettronico, le molecole di acqua adsorbite forniscono specie ioniche aggiuntive che contribuiscono attivamente alla conduzione elettrica dello ZnO.

Milano, G., Luebben, M., Laurenti, M., Porro, S., Bejtka, K., Bianco, S., Breuer, U., Boarino, L., Valov, I., Ricciardi, C. (2019). Ionic Modulation of Electrical Conductivity of ZnO Due to Ambient Moisture. Advanced Materials Interfaces, 6(17), 1900803, DOI:10.1002/admi.201900803 (IF 4.7)

È stato realizzato un nuovo divisore campione di tensione per la misura di tensioni ac, dc o dc+ac, fino a 1 kV. Per la misura ac la gamma di frequenza è da 10 kHz a 200 kHz. L'errore di rapporto è inferiore allo 0.1%, mentre l'errore di fase è inferiore a 400 μ rad a 100 kHz e inferiore al milliradiante a 200 kHz. Il divisore campione è unico nel suo genere ed è particolarmente adatto a fornire riferibilità per le nuove applicazioni dell'elettromobilità. L'INRiM è il primo istituto metrologico a possedere un campione di questo tipo.

Zucca M., Modarres M., Pogliano U., Serazio D., "1 kV Wideband Voltage Transducer, a Novel Method for Calibration and a Voltage Measurement Chain", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, early access, 2019 (IF 3.067)

Si propone una metodologia (SINDICOMP), per la compensazione della non-linearità introdotta dai trasformatori di tensione e corrente impiegati nella misura della qualità della potenza nelle reti di distribuzione in media e bassa tensione. L'articolo descrive la non-linearità introdotta dal nucleo magnetico ed il suo impatto, in termini di accuratezza, nella misura delle componenti armoniche, in particolar modo a bassa frequenza. Sono stati riportati i risultati di una campagna di misure volte a dimostrare l'efficacia del metodo proposto. L'attività ha coinvolto INRiM, la Seconda Università degli Studi di Napoli, l'Università degli studi di Palermo e l'istituto ISSIA (CNR) di Palermo.

A. Cataliotti et al., "Compensation of Nonlinearity of Voltage and Current Instrument Transformers," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 5, pp. 1322-1332, May 2019 (IF 3.067)

L'articolo descrive lo sviluppo e l'applicazione di un modello computazionale per prevedere il riscaldamento, in presenza di termoregolazione, di una protesi metallica impiantata in un corpo umano, quando sottoposto a una sequenza di funzionamento delle bobine di gradiente durante una scansione a risonanza magnetica. L'analisi, supportata da una validazione sperimentale per numerosi scenari d'esposizione, mette in evidenza le condizioni che possono causare livelli significativi di sovratemperatura.

A. Arduino, O. Bottauscio, R. Brühl, M. Chiampi, L. Zilberti, In silico evaluation of the thermal stress induced by MRI switched gradient fields in patients with metallic hip implant, Physics in Medicine & Biology, Vol. 64, No. 24, Article number 245006, December 2019 (IF 3.030)

In questo lavoro sono analizzate le prestazioni energetiche e le proprietà strutturali e acustiche degli edifici in muratura di pietra. Vengono studiati e discussi, sulla base degli standard tecnici attuali e della letteratura scientifica, i criteri di sicurezza dal punto di vista sismico. I risultati mostrano che gli edifici in muratura in pietra possono offrire spesso prestazioni più elevate di quelle che sono normalmente attribuite.

A. Schiavi, G. Cellai, S. Secchi, F. Brocchi, A. Grazzini, A. Prato, F. Mazzoleni: Stone masonry buildings: Analysis of structural acoustic and energy performance within the seismic safety criteria. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, Vol. 220, pp. 29-42, 2019 (IF 4.046)

In questo lavoro viene riportato lo studio e l'analisi della luce emessa dai tessuti biologici (da pochi secondi a diversi minuti) dopo l'applicazione della chirurgia laser. È stato utilizzato un diodo laser (808 nm) disponibile in commercio per applicazioni mediche e odontoiatriche. I tessuti irradiati (carne rossa, petto di pollo e grasso) hanno mostrato un'emissione di luce nella gamma visibile, ben rilevabile con una fotocamera commerciale (CCD).

F. Boschi, P. R. Basso, I. Corridori, G. Durando, A. Sandri, G. Segalla, M. Raspanti, A. E. Spinelli: *Weak biophoton emission after laser surgery application in soft tissues: Analysis of the optical features*. JOURNAL OF BIOPHOTONICS, Vol. 12, no. 9, Article Number e201800260, 2019 (IF 3.763)

Lo studio condotto, svolto in collaborazione con il settore ML5, ha permesso di dimostrare per la prima volta che l'utilizzo di ultrasuoni ad elevate intensità consente di accelerare e/o indurre la formazione di idruri mediante la sonicazione di particelle metalliche disperse in soluzione acquosa. Il metodo sviluppato si propone come alternativo per il trattamento di leghe metalliche per l'immagazzinamento dell'idrogeno o per la modifica delle loro proprietà magnetocaloriche.

A. Troia, E.S. Olivetti, L. Martino, V. Basso, *Sonochemical hydrogenation of metallic microparticles*, Ultrasonics Sonochemistry, Volume 55, July 2019, Pages 1-7.(IF 7.279)

Il lavoro, svolto in collaborazione con il settore ML5, presenta lo studio dettagliato di nanomateriali in permalloy per potenziali applicazioni nell'ipertermia magnetica, attraverso la generazione di calore per isteresi. In particolare, sono state investigate nanostrutture discoidali, cilindriche e sferiche, con dimensione variabile nel range di qualche centinaio di nanometri. Attraverso un'analisi modellistica e sperimentale, sono state individuate le proprietà geometriche ottimali che garantiscono la massimizzazione del calore specifico prodotto e, allo stesso tempo, il rispetto dei vincoli biofisici sul campo magnetico applicato e la limitazione di effetti di aggregazione. Si è inoltre studiato come la concentrazione dei nanomateriali può impattare sull'efficienza del processo di riscaldamento.

R. Ferrero, A. Manzin, G. Barrera, F. Celegato, M. Coisson, P. Tiberto, *Influence of shape, size and magnetostatic interactions on the hyperthermia properties of permalloy nanostructures*, Scientific Reports, Volume 9, Issue 1, 1 December 2019, Article number 6591 (IF 4.011)

Gli skyrmioni magnetici sono strutture magneticamente protette, dovuta alla stabilizzazione di una forte interazione di Dzyaloshinskii-Moriya. Queste strutture possono essere mosse efficacemente da correnti elettriche attraverso i cosiddetti spin-orbit torques. Per arrivare ad utilizzarli in applicazioni tecniche come per es. nuove memorie magnetiche è necessario risolvere effetti indesiderati, come il riscaldamento dovuto alle correnti. In questo lavoro si mostra un nuovo approccio per controllare la posizione di uno skyrmione in modo preciso utilizzando un microscopio a forza magnetica, grazie al gradiente di campo magnetico generato dalla punta del microscopio. Questo risultato apre la strada al controllo degli skyrmioni senza correnti

A. Casiraghi, H. Corte-León, M. Vafae, F. Garcia-Sanchez, G. Durin, M. Pasquale, G. Jakob, M. Kläui, O. Kazakova: *Individual skyrmion manipulation by local magnetic field gradients*. COMMUNICATIONS PHYSICS, Vol. 2, Article Number 145, 2019

Film sottili di $Fe_{78}Si_9B_{13}$ con un'anisotropia perpendicolare sono caratterizzati da una configurazione magnetica a "stripe". Le loro proprietà di anisotropia rotazionale sono state studiate mediante magnetometria a campione vibrante, una tecnica innovativa di microscopia a forza magnetica dipendente dal campo magnetico, e risonanza ferromagnetica, al fine di correlare l'anisotropia perpendicolare con il valore di soglia di campo magnetico applicato che bisogna oltrepassare per indurre un riallineamento delle "stripe". L'articolo evidenzia una correlazione lineare tra queste due quantità. La presenza del valore di soglia per il riallineamento delle "stripe" è attribuita alle regioni del campione la cui magnetizzazione deve invertire la sua componente perpendicolare durante il processo di rotazione, dovendo pertanto vincere la barriera di potenziale dell'anisotropia perpendicolare.

M. Coisson, G. Barrera, F. Celegato, P. Tiberto: *Rotatable magnetic anisotropy in $Fe_{78}Si_9B_{13}$ thin films displaying stripe domains*. APPLIED SURFACE SCIENCE, Vol. 476, pp. 402-411, 2019 (IF 5.155)

L'articolo descrive un esperimento dimostratore per la realizzazione di una bilancia elettrostatica. L'approccio a facce parallele dimostra grandi potenzialità rispetto a quello a elettrodi cilindrici più comunemente usato e apre la strada alla possibilità di realizzare il kilogrammo secondo la definizione del nuovo SI alla scala delle piccole masse.

M. Pisani, A. Malengo, M. Santiano, F. Saba, D. Torchio: *A Simple Electrostatic Balance for the Milligram Range*. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 68, no. 6, pp. 2223-2228, 2019 (IF 2.794)

La misurazione dell'energia termica negli edifici attraverso i contatori di energia termica presenta numerosi problemi metrologici dovuti alle condizioni di installazione e di funzionamento, che spesso portano ad errori di misura inaccettabili. In diversi paesi dell'Unione Europea, a garanzia dei consumatori, è obbligatorio effettuare controlli periodici sia in laboratorio sia in campo per valutarne l'accuratezza. L'INIRM ha partecipato ad una sperimentazione volta ad analizzare i principali contributi di incertezza nell'utilizzo dei contatori master ad ultrasuoni di tipo clamp-on utilizzati per verifica sul campo dei contatori di energia termica. I risultati hanno mostrato che occorre prestare particolare attenzione alla configurazione e all'installazione dei trasduttori, e che i requisiti imposti dalla metrologia legale sono spesso molto difficili da rispettare.

G. Ficco, A. Frattolillo, A. Malengo, G. Puglisi, F. Saba, F. Zuena "Field verification of thermal energy meters through ultrasonic clamp-on master meters", *Measurement*, Volume 151, February 2020, 107152 (IF 2.791)

L'articolo descrive l'utilizzo dell'interferometria combinata ottica e a raggi X (COXI) per lo sviluppo e lo studio di un modello analitico dell'interferometro ottico a singolo fascio in grado di misurare spostamenti e inclinazioni con risoluzioni del picometro e del nanoradiante. I risultati sperimentali e il modello analitico sono analizzati per verificare gli effetti delle aberrazioni dei fronti d'onda sulla fase differenziale che introducono rotazioni apparenti a livello del nanoradiante. L'articolo rappresenta un contributo scientifico di carattere generale e può essere esteso ad interferometri utilizzati nelle antenne gravitazionali LIGO-VIRGO e LISA.

E. Massa, C. P. Sasso e G. Mana: *Fake tilts in differential wavefront sensing*. *Optics Express*, Vol. 27, no. 24, Article Number 371041, 2019 (IF 4.532)

In questo studio si analizza l'effetto della stray-light nel Sistema interferometrico dell'antenna gravitazionale LISA, in cui la sensibilità nella misura della distanza fra i satelliti deve essere di qualche picometro su un cammino di 2.5 Mkm. Attraverso modelli e simulazioni si esamina l'effetto per stabilire il limite massimo di stray-light e si propongono delle soluzioni per poterne mitigare l'impatto. In un sistema di rilevazione bilanciato, come quello proposto, la potenza della stray-light deve essere mantenuta inferiore a 10 nW/W.

Sasso, C. P.; Mana, G.; Mottini, S.: *The LISA interferometer: impact of stray light on the phase of the heterodyne signal*. *CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY*, Vol. 36, no. 7, Article Number 075015, 2019 (IF 3.487)

Continua la collaborazione instaurata con l'Università di Messina per lo studio delle malattie neurodegenerative mediante wearable sensor collegati a un sistema embedded anch'esso indossabile. L'elettronica indossata dal paziente è in grado di effettuare una elaborazione preliminare dello stato di salute del paziente e si collega a sistemi remoti per l'invio dei dati. Presentazione del lavoro su rivista

G. Gugliandolo, P. P. Capra, N. Donato et al.: *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, Vol. 68, no. 5, pp. 1451-1457, 2019 (IF 3.067)

L'esperienza acquisita dall'INRiM nello sviluppo di un metodo di termometria primaria denominato *Refractive Index Gas Thermometry* (RIGT), basato sulla misura dell'indice di rifrazione di gas monoatomici con risonatori a microonde ha permesso di contribuire alla redazione di un lavoro di rassegna che descrive i principi del metodo valutandone l'incertezza caratteristica ottenibile nella determinazione della temperatura termodinamica. Tale pubblicazione ha permesso l'inclusione della termometria RIGT nella lista dei metodi primari riconosciuti dall'aggiornamento (2019) della: "Mise en pratique for the definition of the kelvin in the SI".

P. R. M. Rourke et al.: *Refractive Index Gas Thermometry*, *Metrologia* (2019) (IF 3.447)

Si è conclusa una serie di misure della pressione di vapor saturo di campioni di acqua ordinaria allo stato soprafuso nell'intervallo di temperatura tra 252 K e 273 K. I risultati di tali misure – i più accurati finora pubblicati – contribuiscono alla validazione dell'equazione di Clausius-Clapeyron applicata all'acqua allo stato liquido a temperature inferiori a 273.15 K contribuendo a colmare l'attuale lacuna di dati sperimentali in tale intervallo di temperatura.

G. Beltramino et al.: *Accurate vapor pressure measurements of supercooled water in the temperature range between 252 K and 273 K*, *J. Chem. Thermodynamics* (pub. online 2019)

La determinazione della densità dell'acqua marina ha grande importanza in oceanografia, dato il suo ruolo chiave nell'organizzazione delle correnti oceaniche che distribuiscono ossigeno, calore, plankton e inquinanti. Misure estremamente accurate (0.003%) della densità di acqua marina standard per salinità comprese fra 10 g kg⁻¹ e 38 g kg⁻¹ e temperature fra 278 K e 313 K sono state ottenute con un densimetro a tubo vibrante. I risultati di tali misure sono stati confrontati con l'equazione di stato di riferimento "Thermodynamic Equation of SeaWater-2010, TEOS-10".

R. Romeo et al.: *Density of standard seawater by vibrating tube densimeter: Analysis of the method and results*, *Deep-Sea Res. I* (2019) (IF 2.848)

Studio pubblicato su *International Journal of Climatology* (IF 3.6) sulla validazione metrologica dei record di temperatura atmosferica registrati tra il 2016 e 2017 in Kuwait e Pakistan. Lo studio ha visto per la prima volta un istituto metrologico affrontare la valutazione delle incertezze di taratura e misura di sensori di temperatura atmosferica e ha settato lo standard su cui i futuri claim di record verranno valutati dal WMO. Lo studio è stato citato dalla rivista *Nature* ed è stato rilanciato da diverse agenzie di stampa nazionali ed internazionali.

Merlone et al.: *Temperature extreme records: World Meteorological Organization metrological and meteorological evaluation of the 54.0°C observations in Mitribah, Kuwait and Turbat, Pakistan in 2016/2017*, *IntJ Clim*, 2019 <https://doi.org/10.1002/joc.6132> (IF 3.601)

Pubblicazione associata allo sviluppo di un "user-friendly MS-Excel spreadsheet for evaluation of global consumer's and producer's risks in conformity assessment of chemical composition of a multicomponent material or object, when up to four component concentrations are under control."

Ricardo Bettencourt da Silva, Felipe Rebello Lourenco, Francesca Pennecchi, D. Brynn Hibbert, Ilya Kuselman, Spreadsheet for evaluation of global risks in conformity assessment of a multicomponent material or object, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 188 (2019) 1–5 (IF 2.786)

Sistemi per finestre con silica aerogel sono importanti per migliorare l'impatto energetico degli edifici, ma presentano costi elevati o impediscono la percezione dell'ambiente esterno. L'articolo descrive le prestazioni ottiche di un prototipo innovativo realizzato con il metodo del "rapid supercritical extraction". Le misurazioni hanno riguardato anche aspetti importanti per la definizione dell'ambiente interno illuminato quali l'indice di resa dei colori e la distorsione o riduzione della capacità di percepire l'ambiente esterno.

M. Zinzi, G. Rossi, A. M. Anderson, M. K. Carroll, E. Moretti, C. Buratti: Optical and visual experimental characterization of a glazing system with monolithic silica aerogel. SOLAR ENERGY, Vol. 183, pp. 30-39, 2019 (IF 4.674).

I virus delle piante inducono perdite fino al 25% nelle colture orticole e la loro diagnosi precoce ne limita diffusione e impatto economico. In questo lavoro si dimostra che la spettroscopia Raman (RS) è una tecnica rapida non distruttiva che genera un'impronta digitale chimica del virus, a basso costo. Abbiamo valutato l'idoneità della RS combinata all'analisi chemiometrica per monitorare l'infezione del pomodoro da due agenti patogeni virali, il virus Tomato yellow leaf curl Sardinia virus (TYLCSV) and Tomato spotted wilt virus (TSWV). RS discrimina i campioni inoculati da virus, con un'accuratezza > 70% dopo soli 14 giorni dall'inoculazione per TYLCSV e >85% dopo 8 giorni per TSWV, dimostrandone l'idoneità alla diagnosi precoce.

L. Mandrile, S. Rotunno, L. Miozzi, AM Vaira, AM Giovannozzi, AM Rossi, E. Noris "Nondestructive Raman Spectroscopy as a Tool for Early Detection and Discrimination of the Infection of Tomato Plants by Two Economically Important Viruses" Analytical chemistry 91 (14), 9025-9031 (I.F. 6.350)

In questo lavoro sono state preparate nanoparticelle di carbonio (CNP) derivate dal glucosio a dimensioni e forma definite, valutandone le proprietà redox su culture cellulari al buio e dopo attivazione con un raggio laser nel vicino infrarosso (945nm, 1,3 W / cm²). Abbiamo scoperto che, quando irradiati con NIR, i CNP generano in modo efficiente calore e ossigeno singoletto (1O₂), proprietà sfruttabile per la doppia terapia fototermica (PT) / fotodinamica (PD) nel cancro. Quando testati su una linea cellulare di macrofagi murini (RAW 264,7), i CNP hanno esercitato proprietà antiossidanti.

I Kokalari, R Gassino, AM Giovannozzi, L Croin, E Gazzano, E. Bergamaschi, A. M Rossi, G. Perrone, C. Riganti, J. Ponti, I. Fenoglio "Pro-and anti-oxidant properties of near-infrared (NIR) light responsive carbon nanoparticles", Free Radical Biology and Medicine 134, 165-176 (I.F. 5.657)

Lo scopo di questo studio è stato valutare l'efficacia di un approccio multi-analitico per l'autenticazione dell'origine dei gusci di fave di cacao (CBS). I profili chimici complessivi della CBS di origini diverse sono stati caratterizzati mediante spettroscopia nel vicino infrarosso a riflettanza diffusa (NIRS) e spettroscopia nel medio infrarosso a riflettanza totale attenuata (ATR-FT-IR) per l'identificazione della composizione molecolare, nonché tramite spettroscopia emissione plasma-ottica accoppiata induttivamente (ICP-OES) per l'identificazione della composizione elementare. Tecniche chemiometriche esplorative basate sull'analisi delle componenti principali (PCA) sono state applicate a ogni singola tecnica per ottenere con un percentuale del 90% l'identificazione dell'origine geografica dei campioni.

L. Mandrile, L. Barbosa-Pereira, K. M. Sorensen, A. M. Giovannozzi, G. Zeppa, S. B. Engelsen, A. M. Rossi "Authentication of cocoa bean shells by near-and mid-infrared spectroscopy and inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy" Food chemistry 292, 47-57 (I.F. 5.399)

I quantum Hall array resistance standards (QHARS) sono circuiti integrati composti da numerosi elementi ad effetto Hall quantistico, in grado di sintetizzare diversi valori di resistenza quantizzata. La ricerca è svolta nell'ambito di una collaborazione tra INRiM e National Institute for Standards and Technology per lo sviluppo di QHARS in grafene, materiale che quantizza in condizioni di temperatura e campo magnetico meno estreme dei dispositivi a semiconduttore.

A.F. Rigosi, D. Patel, M. Marzano, M. Kruskopf, H. M. Hill, H. Jin, J. Hu, A.R.H. Walker, M. Ortolano, L. Callegaro, Chi-TeLiang, D. B. Newell: Atypical quantized resistances in millimeter-scale epitaxial graphene p-n junctions. CARBON, Vol. 154, pp. 230-237, 2019 (IF 7.466).

La tomografia a resistenza elettrica (ERT) è proposta per la prima volta come tecnica di misura riferita di mappe di conducibilità di campioni di grafene di grande area (cm²). Il sistema di misura ERT, progettato e realizzato in INRiM è impiegato per la caratterizzazione di grafene industriale ottenuto per chemical vapour deposition.

A. Cultrera, D. Serazio, A. Zurutuza, A. Centeno, O. Txoperena, D. Etayo, A. Cordon, A. Redo-Sanchez, I. Arnedo, M. Ortolano, L. Callegaro: *Mapping the conductivity of graphene with Electrical Resistance Tomography*. *SCIENTIFIC REPORTS*, Vol. 9, Article Number 10655, 2019 (IF 4.011).

Un elemento chiave nel progetto PTOLEMY sulla rivelazione diretta di neutrini fossili, è il microcalorimetro per la misura dell'energia posseduta dagli elettroni emessi in seguito all'assorbimento dei neutrini. In questo lavoro si descrive la ricerca per ridurre la capacità termica di microcalorimetri a transizione di fase superconduttiva (TES) realizzati presso l'INRiM, basati su bistrati di Ti e Au. Lo scopo è di ridurre lo spessore dei film e la loro temperatura di transizione per ottenere una risoluzione energetica di 0,05 eV per elettroni con 10 eV.

M. Rajteri, M. Biasotti, M. Faverzani, E. Ferri, R. Filippo, F. Gatti, A. Giachero, E. Monticone, A. Nucciotti, A. Puiu "TES Microcalorimeters for PTOLEMY", *J Low Temp Phys* (2019). <https://doi.org/10.1007/s10909-019-02271-x> (IF 1,5)

Prima ricostruzione sperimentale (su un sistema di fotoni entangled in polarizzazione) di una matrice pseudodensità, che rappresenta un nuovo modo di trattare l'evoluzione dei sistemi quantistici (e di eventuali sviluppi oltre la meccanica quantistica), estendendo il formalismo della matrice densità. Nel caso specifico la matrice pseudodensità ricostruita corrisponde in particolare alla simulazione di un pej timelike loop.

C.Marletto, V.Vedral, S.Virzi, E.Rebufello, A.Avella, F.Piacentini, M.Gramegna, I.Degiovanni, M.Genovese, "Theoretical description and experimental simulation of Quantum Entanglement Near Open Time-Like Curves via pseudo-density operators"; *Nature communications* 10 (2019) 182. (IF 11,9)

Prima "comparison" tra diversi NMI su capacità taratura per sistemi QKD (che ha ricevuto una menzione da Nature), nel caso tra sorgenti a singolo fotone nel visibile ed infrarosso. Tale risultato rappresenta un passo significativo sulla strada per realizzare un sistema condiviso di certificazione metrologica dei sistemi QKD in vista dell'incremento importante del loro mercato.

G Brida, M Gramegna, I Ruo-Berchera, J Forneris, S Ditalia Tchernij, P Olivero, C J Chunnillall, S Kuck, M Genovese and I P Degiovanni "Feasibility study towards comparison of the $g(2)(0)$ measurement in the visible range", E Moreva, P Traina, R A Kirkwood, M Lopez, *Metrologia* 56 (2019) 015016 (IF 3.4)

E Rebufello, F Piacentini, M Lopez, R A Kirkwood, I Ruo Berchera, M Gramegna, G Brida, S Kuck, C J Chunnillall, M Genovese and I P Degiovanni "Towards a standard procedure for the measurement of the multi-photon component in a CW telecom heralded single-photon source", *Metrologia* 56 (2019) 025004. (IF 3.447)

La spettroscopia molecolare sta ritornando in auge nella ricerche di fisica fondamentale, in particolare nella regione spettrale dell'infrarosso medio, in cui le forti e strette eccitazioni ro-vibrazionali hanno le loro frequenze di transizione fondamentali. In questa regione spettrale la tecnologia è ancora pionieristica. Qui presentiamo un esperimento di spettroscopia ad alta risoluzione, basato su una configurazione del fascio molecolare, che spinge la larghezza di linea misurata vicino al limite di tempo di transito, nell'ordine di 100 kHz.

D. D'Ambrosio, S. Borri, M. Verde, A. Borgognoni, G. Insero, P. De Natale, G. Santambrogio: *Approaching the transit time limit for high-precision spectroscopy on metastable CO around 6 μ m*. *PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS*, Vol. 21, no. 44, pp. 24506-24511, 2019 (IF 3.567)

Esperimento di distribuzione dell'entanglement su singoli fotoni distribuiti in fibra ottica sottomarina. La tecnica usata è l'entanglement in polarizzazione; l'infrastruttura in fibra ottica era dislocata tra la Sicilia e Malta. La collaborazione è internazionale (Italia, Austria, Malta), e si ottiene qui anche il record di distanza percorsa con conservazione dell'entanglement di polarizzazione, 96 km.

S. Wengerowsky, S. K. Joshi, F. Steinlechner, J. R. Zichi, S. M. Dobrovolskiy, R. van der Molen, J. W. N. Los, V. Zwiller, M. A. M. Versteegh, A. Mura, D. Calonico, M. Inguscio, H. Hubel, L. Bo, T. Scheidl, A. Zeilinger, A. Xuereb, R. Ursin: *Entanglement distribution over a 96-km-long submarine optical fiber*. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA*, Vol. 116, no. 14, pp. 6684-6688, 2019 (IF 9.580)

In questo lavoro dimostriamo la capacità di trasferire la purezza spettrale di un laser ultrastabile per orologio ottico a 1156 nm verso altre regioni spettrali, come quella a 1542 nm per le telecomunicazioni in fibra ottica, senza degradazione della stabilità e dimostrando l'assenza di bias di frequenza introdotti dal pettine ottico. I risultati sono fondamentali per trasferire l'accuratezza degli orologi in remoto, nei confronti internazionali, e anche nei confronti di laboratorio con accuratezze superiori a 1e-17.

Barbieri, C. Clivati, M. Pizzocaro, F. Levi, D. Calonico: *Spectral purity transfer with 5×10^{-17} instability at 1 s using a multibranch Er: fiber frequency comb*. *METROLOGIA*, 56, 045008, 2019 (IF 3.447)

4.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019

Questo lavoro è uno studio pilota per stabilire eventuali correlazioni tra parametri acustici dell'aula dove vengono svolte le lezioni e livello di apprendimento. Hanno partecipato allo studio circa 330 alunni dai 6 ai 7 anni, appartenenti a 20 classi di 10 scuole elementari situate a Torino (Italia), dove venivano eseguite misurazioni acustiche dell'aula e dove il livello di pressione sonora veniva monitorato durante le lezioni.

A. Astolfi, G. E. Puglisi, S. Murgia, G. Minelli, F. Pellerey, A. Prato, T. Sacco. Influence of Classroom Acoustics on Noise Disturbance and Well-Being for First Graders. FRONTIERS IN PSYCHOLOGY, Vol. 10, Article Number 2736, 2019

Questo è il rapporto finale relativo al confronto chiave EURAMET.AUV.A-K5 avente come oggetto la calibrazione dei microfoni standard da laboratorio nella gamma di frequenza da 2 Hz a 10 kHz. Dodici istituti nazionali di metrologia hanno preso parte al confronto e il National Physical Laboratory (NPL) ha esercitato il ruolo di pilot-lab.

J. Avison, P. Harris, S. Robinson, D. Rodrigues, C. Guglielmono, C. Hof, E. Sadikoglu, M. Chushkov, S. Zelenika, P. Rosenkrantz: Final report: key comparison EURAMET.AUV.A-K5. METROLOGIA, Vol. 56, no. 1A, Supplement S, Article Number 09001, 2019 (IF 3.447)

L'articolo descrive i risultati ottenuti nell'ambito del confronto pilota CCQM-P165 "Quantification of CD34+ Cell Counts", che mirava a quantificare il numero di cellule staminali ematopoietiche in materiali di riferimento costituiti da cellule staminali liofilizzate. In clinica, tale quantificazione è necessaria per garantire il successo del trapianto di midollo osseo. Al confronto hanno partecipato 12 laboratori, eseguendo conteggi di cellule CD34+ mediante citometria a flusso. Le concentrazioni medie misurate dai vari laboratori sono rientrate nel 30% dalla media del valore di consenso, raggiungendo un risultato in linea con i requisiti di qualità del metodo.

L. Saraiva, L. Wang, M. Kammel, A. Kummrow, E. Atkinson, J.Y. Lee, B. Yalcinkaya, M. Akgöz, J. Höckner, A. Ruf, A. Engel, Y.-Z. Zhang, O. O'Shea, M.P. Sassi, C. Divieto, T. Lekishvili, J. Campbell, Y. Liu, J. Wang, R. Stebbings, A.K. Gaigalas, P. Rigsby, J. Neukammer, S. Vessillier, Comparison of Volumetric and Bead-Based Counting of CD34 Cells by Single-Platform Flow Cytometry, Cytometry Part B - Clinical Cytometry, Volume 96, Issue 6, 1 November 2019, Pages 508-513 (IF 2.938)

Pazienti portatori di protesi dell'anca del tipo metallo su metallo sono periodicamente monitorati rispetto ai livelli di cobalto nel sangue e nell'urina. Ulteriori misure nei capelli sono raccomandate a supporto degli interventi di sostituzione delle protesi per danneggiamento. Nel presente studio, svolto in collaborazione con l'Istituto Ortopedico Rizzoli, è stato testato e validato un metodo di lavaggio dei capelli come protocollo standard da utilizzare nelle relative applicazioni cliniche. La quantificazione del cobalto nei campioni di capelli è stata effettuata mediante analisi per attivazione neutronica.

G. D'Agostino, M. Di Luzio, M. Oddone, S. Stea, Cobalt determination in the hair of patients after metal-on-metal hip implants by instrumental neutron activation analysis, Metrologia, Volume 56, Issue 1, February 2019, Article number 014001 (IF 3.447)

Questo lavoro raccoglie i risultati di un confronto di misure tra cinque laboratori; ciascuno con il proprio setup ha ricavato il coefficiente di spin Seebeck, ovvero il rapporto tra tensione elettrica dovuta all'effetto e differenza di temperatura che lo genera. Le misure sono state effettuate su un unico campione di YIG/Pt e i risultati appaiono diversi tra i laboratori, seppur ripetibili all'interno di ciascuno di questi. Nel lavoro è stato discusso il ruolo predominante degli effetti sistematici sia nella misura elettrica, sia in quella termica. In questo studio sono stati proposti approcci alternativi alla misura del coefficiente di spin Seebeck, finalizzati a ridurre il contributo degli effetti sistematici.

A. Sola, V. Basso, M. Kuepferling, M. Pasquale, D. Carsten né Meier, G. Reiss, T. Kuschel, T. Kikkawa, K.-ichi Uchida, E. Saitoh, H. Jin, S. J. Watzman, S. Boona, J. Heremans, M. B. Jungfleisch, W. Zhang, J. E. Pearson, A. Hoffmann, H. W. Schumacher: Spin caloritronic Measurements: A Round Robin Comparison of the Longitudinal Spin Seebeck Effect. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 68, no. 6, pp. 1765-1773, 2019 (IF 3.067)

Confronto internazionale CIPM. Nel confronto chiave delle misure di forza CCM.F-K3 la forza di misura è stata confrontata su due valori di forza: 500 kN e 1 MN. A questo confronto, organizzato da PTB come laboratorio pilota, hanno partecipato in tutto 12 laboratori (9 sul livello di forza da 500 kN e 6 su 1 MN). L'INRiM ha partecipato su tutti i due livelli di forza, essendo uno dei soli cinque MNI al mondo a realizzare fino a 1 MN di forza con un campione a pesi diretti che garantisce la migliore incertezza.

Il Rapporto finale è stato pubblicato come:

Final report on the force key comparison CCM.F-K3. DOI:10.1088/0026-1394/56/1A/07001. pp.1-27. In METROLOGIA - ISSN:1681-7575 vol. 56 (Number 1A, Technical Supplement 2019), R. Kumme, P. Averlant, T. Bartel, A. Germak, A. Knott, J. Man, N. Medina, A. R. Ostrivnoy, Y.-K. Park, D. Röske, R. L. Seifarth, M. Wozniak, K. Ueda and Z. Zhimim.

È stato messo a punto e validato un metodo per la misura del diametro medio delle nanoparticelle quasi-sferiche attraverso l'uso del microscopio a forza atomica equipaggiato con scale interferometriche. Il campo di misura è da 5 a 500 nm. Il sistema diventerà un servizio di taratura utile soprattutto nel campo delle

nanoscienze, delle nanotecnologie e della nanomanifattura.

Studio e caratterizzazione di multimetri utilizzati nei cicli di confronto multilaterali per le grandezze elettriche in bassa frequenza e dc. Risultati pubblicati di due riviste internazionali

F. Galliana, M. Lanzillotti: MAPAN - Journal of Metrology Society of India, Vol. 34, no. 4, pp. 473-478, 2019 (IF 1.32)
F. Galliana, M. Lanzillotti: Metrology and Measurement Systems, Vol. 26, no. 2, pp. 283-296, 2019 (IF 1.598)

Realizzazione di un sistema di taratura di sensori utilizzati nei test di corto circuito nel rispetto dei requisiti della norma IEC 62475 basato su un multimetro di alta precisione utilizzato come digitalizzatore e algoritmi di calcolo appositamente sviluppati. Risultati pubblicati su rivista.

P. E. Roccato, P. P. Capra: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 68, no. 6, pp. 2100-2105, 2019 (IF 2.794)

E' stato compiuto uno studio sui confronti di misura in relazione alla loro importanza e impatto sulle industrie ad alta tecnologia. Articolo divulgativo.

Galliana, F.: Measurement Comparisons: A Tool to Guarantee the Reliability of Measurement Systems and of High-Tech Industry. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol. 22, no. 2, pp. 62-66, 2019 (IF 1.9)

Supporto all'accreditamento – Preparazione linea guida - Accredia DT-09-DT "Linea guida per la taratura di termometri a immersione". La collaborazione tra INRiM e ACCREDIA ha portato alla stesura di questa linea guida riguardante la taratura per confronto di termometri a immersione. I destinatari sono tutti i laboratori di taratura accreditati o in accreditamento nella grandezza temperatura, ma anche i laboratori accreditati in altre grandezze, o in prove o analisi che effettuano tarature interne di misuratori di temperatura. Inoltre tale linea guida è destinata ai valutatori ed agli esperti tecnici del settore "Temperatura" di ACCREDIA, per i quali costituisce una base comune per l'armonizzazione delle valutazioni. Il documento è disponibile gratuitamente per tutti al seguente indirizzo: <https://www.accredia.it/documento/dt-09-dt-rev-00-linea-guida-per-la-taratura-di-termometri-a-immersione>.

Coordinamento del progetto EURAMET P1459 (24 NMI partecipanti) con avvio di interlaboratory comparison e instrument intercomparison di termometri per misura della temperatura dell'aria.

Il campione nazionale di potenza a radiofrequenza e microonda è basato su un microcalorimetro, che misura l'efficienza dei rivelatori. Non esiste strumentazione commerciale; i limiti delle implementazioni dei diversi istituti metrologici nazionali possono essere identificati e superati attraverso un'analisi dettagliata del bilancio dell'incertezza di misura.

Oberto, L.: Identification of RF&MW Microcalorimeter Weak Points by Means of Uncertainty Analysis. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 68, no. 6, pp. 1948-1954, 2019 (IF 3.067)

Confronto internazionale: pubblicazione del Draft B del confronto EURAMET.EM-S35 Comparison of High-Current Ratio Standard. Il confronto è pilotato da EURAMET; si basa su un direct-current current transformer (DCCT) come campione viaggiatore, ha coinvolto 11 istituti metrologici e ha validato il sistema di taratura INRiM per questi dispositivi e il futuro servizio di taratura verso i laboratori accreditati.

Attività di servizio: Peer Review, nell'ambito del progetto EURAMET On site peer review CEM, INRiM and IPQ, delle misure in DC, AC e bassa frequenza, delle misure di pressione e delle misure sui materiali magnetici.

Nuova realizzazione INRiM del secondo SI: L'orologio ottico ad atomi di Itterbio freddi (IT-Yb1) ha portato il primo contributo alla realizzazione del Tempo Atomico internazionale (TAI), come riporta la Circular T del BIPM n.383 (Novembre 2019) L'accuratezza del campione IT-Yb1 è stata ulteriormente migliorata rispetto al 2018, portandola ad un'incertezza relativa pari a 3e-17. Il campione di frequenza è stato quindi usato per compiere 5 tarature di TAI.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM), CIRCULAR T 383, November 2019, ISSN 1143-1393

Nuova generazione dello standard di tempo UTC(IT). E' stato realizzato il nuovo sistema di generazione della scala di tempo nazionale UTC(IT). Le due peculiarità più rilevanti sono: 1) realizzazione di due scale di tempo completamente indipendenti, commutabili "a caldo" senza salti di fase, 2) implementazione di algoritmi automatici di steering per migliorare la sincronizzazione verso UTC e per mantenere le scale allineate entro 300 ps.

4.3 - KNOWLEDGE TRANSFER: ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2019

Organizzazione di Nanoinnovation 2019, 11-14 giugno 2019, Roma, Italia

Come negli anni passati, L'INRiM ha co-organizzato ed ha partecipato alla conferenza Nanoinnovation, che si è svolta a Roma il 11-14 giugno 2019. Oltre allo stand dedicato, INRiM ha partecipato con un tutorial, a cura di Federico Ferrarese-Lupi, dal titolo "Nanoscale Characterisation and Metrology", nell'ambito della "School on Silicon Micro- and Nano-Technologies, in collaborazione con it-fab, il Network Italiano per la Micro e Nano Fabbricazione. (<https://www.nanoinnovation2019.eu/index.php/programme/joint-events/school-on-silicon-micro-and-nano-technologies>)

Workshop WCV 2019 - Wireless charging of vehicles - Measurements, modeling, and human exposure, PTB, Braunschweig, Germania, 27 novembre 2019

E' stato organizzato da INRiM e PTB il Workshop WCV 2019 che si è tenuto presso il PTB, istituto metrologico nazionale tedesco, nell'ambito delle attività di trasferimento tecnologico del progetto 16 EMPIRENG08 MICEV, Vi sono stati in totale 40 partecipanti, di cui 20 provenienti dal consorzio MICEV e 20 esterni. Ventitré partecipanti hanno seguito i lavori di persona e diciassette tramite webinar. L'analisi delle affiliazioni ha evidenziato partecipanti da 13 nazioni, tra i quali studenti (16%), accademici (37%), tecnici e ricercatori di aziende (21%) e ricercatori di vari istituti metrologici (26%).

Workshop EMRAILS 2019 Electrical Measurements for Energy Management in Railway systems, Museo Nazionale Ferroviario di Pietrarsa, Traversa Pietrarsa, Napoli, Italia, 21 Febbraio 2019

Il workshop, organizzato dall'INRiM, in collaborazione con l'Università della Campania "Luigi Vanvitelli" e dal Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI), ha costituito un'occasione di confronto tra il mondo ferroviario, con le sue esigenze di misure accurate e riferibili di potenza, energia elettrica, efficienza e qualità della potenza, e i *partner* del progetto di ricerca europeo EMPIR 16ENG04 *MyRails*. Nell'ambito del Workshop, che si è aperto con una presentazione del *Chair* del Comitato CT9X del CENELEC sullo stato dell'arte e le prospettive future dell'efficienza energetica e della normativa in ambito ferroviario, sono stati discussi i primi risultati ottenuti dal progetto, per definire insieme ai diretti interessati le azioni di ricerca più idonee da intraprendere per massimizzarne l'impatto sul mondo ferroviario. Il Workshop ha visto la partecipazione di circa 60 persone, provenienti per più del 50% dal mondo dell'industria ferroviaria e dei gestori di infrastrutture.

In collaborazione con il settore QN1 è stato organizzato il workshop "*Advanced Analytical Technologies for Life Sciences*", svoltosi presso il Politecnico di Torino nella giornata del 2 ottobre 2019. Il workshop è stato articolato in 18 presentazioni su invito tra cui una keynote tenuta dal Prof. Ruedi Aebersold dell'ETH di Zurigo sul significato biologico della variabilità genetica. I temi trattati dal workshop hanno riguardato lo sviluppo e l'utilizzo di tecnologie avanzate per le Scienze della Vita, con particolare riferimento agli ambiti della Salute e della Scienza degli Alimenti.

Nel settore misure di Forza, è stato firmato un contratto con la ditta EASYDUR per lo sfruttamento commerciale di know-how avente per oggetto lo sviluppo congiunto di componentistica nel settore delle misure di forza multicomponenti, specificamente, per la realizzazione e lo sviluppo di un trasduttore di forza multicomponente a forma di esapodo (A. Germak)

Nel settore misure di Durezza è stato firmato un contratto con la ditta LTF per la concessione di una licenza di sfruttamento del know-how per la realizzazione di un durometro campione per le scale Rockwell, Brinell, Vickers e Martes. Con la stessa ditta è stata realizzata una collaborazione, scaturita poi in un contratto, per lo sviluppo di un innovativo strumento di misura per il settore della durometria per le microdurezze Vickers e Martens (A. Germak)

Convegno "Le costanti della fisica come riferimento per pesi e misure: il lungo cammino verso le nuove definizioni", 20 maggio 2019, Accademia delle Scienze, Torino

Organizzazione del convegno mostra presso la Sala dei Mappamondi dell'Accademia delle Scienze per la presentazione del nuovo SI in occasione della giornata dell'entrata in vigore. Con la collaborazione dell'Accademia si è allestita una mostra di strumenti e documenti storici dagli archivi dell'INRiM e dell'Accademia che ha accompagnato l'evento.

Conclusione di un progetto industriale promosso dalla IRIS, realizzato in collaborazione con l'istituto IMAMOTER (CNR), per la caratterizzazione dei processi industriali di saldatura mediante l'analisi congiunta di tecniche spettrofotometriche e basate sull'acquisizione mediante camere iper-spetttrali.

Attività di formazione: corso di misure elettriche ed elettroniche di 4 gg, svolto presso il campus di Strada delle Cacce, a favore di Enel ENERGIA. Il corso ha coinvolto nove docenti, esperti in campi diversi della metrologia elettrica, del calcolo delle incertezze nelle misurazioni industriali e normative.

Apertura del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti in diverse occasioni, quali la celebrazione World Metrology Day, Open House e la Notte dei Ricercatori, registrando affluenze superiori al migliaio di visitatori; collaborazione alla realizzazione di un video didattico-dimostrativo sulle prese industriali con l'azienda Palazzoli (<https://www.youtube.com/watch?v=sNnM3YScMI4&t=5s>);

Contratto di servizio tecnico-scientifico con un'azienda consulenza, che svolge attività di supporto tecnico alle aziende per lo studio, la progettazione, l'industrializzazione e la commercializzazione di nuovi prodotti elettrici che si avvale della collaborazione del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti per l'attività di validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori, secondo la normativa di riferimento (IEC 61439-6).

Formazione tecnica - Workshop "Riferibilità delle misure di umidità e temperatura dell'aria" L'INRiM ha proposto una giornata formativa, sotto forma di workshop nazionale, organizzata nell'ambito del progetto europeo EMPIR 15RPT03 - HUMEA (Expansion of European research capabilities in humidity measurement), per approfondire i concetti base e l'applicazione delle tecniche di misurazione dell'umidità e della temperatura dell'aria (<http://www.humea-empir.org/view-more/inrim-workshop-torino-italy-ndash-27th-march-2019/138>). Il workshop ha coinvolto il personale di laboratori metrologici accreditati e industriali, oltre a consulenti, operatori tecnici e personale di aziende operanti nel campo delle misure di umidità (essiccazione materiali, collaudo e manutenzione, ventilazione/condizionamento, confezionamento e stoccaggio, trattamenti di prodotti: alimentari, carta, legno e legname, tessuti, ceramiche, prodotti farmaceutici, ecc...). Durante la giornata formativa sono stati trattati i seguenti argomenti: concetti di base in umidità, campioni di umidità e temperatura, metodi per la generazione dell'umidità, principi di misura dell'umidità, riferibilità delle misure in termigrometria, procedure di taratura/buone pratiche di laboratorio, stima dell'incertezza associata alle misure di umidità e temperatura dell'aria, strumenti per la conversione di grandezze igrometriche. Il workshop si è svolto il 24 marzo 2019 con 40 partecipanti, e ripetuto in seconda edizione il 6 novembre 2019 con 115 iscritti. In entrambe le edizioni, le iscrizioni sono state chiuse in anticipo rispetto alla scadenza, per aver raggiunto il limite di capienza massima delle aule. I feedback ricevuti sono stati molto positivi con numerose richieste di futura replica del corso.

Divulgazione scientifica - EURAMET TC-T - INRiM ha ospitato dal 9 al 12 aprile 2019 l'Annual Meeting del Technical Committee for Thermometry TC-T di EURAMET, l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. L'appuntamento ha visto l'iscrizione di oltre 70 rappresentanti provenienti da tutta Europa. Il programma del meeting ha incluso la presentazione, aperta agli stakeholder nazionali, di due seminari: "Challenges in humidity measurements" e "The *Mise en Pratique* for the definition of the kelvin".

Il 30 settembre 2019 è stata depositata la domanda di Brevetto Europeo n. 18720006.8, come estensione a livello europeo del corrispondente brevetto italiano, "Sonda per la misura di proprietà tribologiche".

Promozione, organizzazione e reperimento dei finanziamenti (tramite progetti ministero Norvegia) per lo svolgimento del IV Arctic Metrology Workshop, Oslo 7 Novembre 2019, in occasione della "Svalbard Conference".

Segreteria Scientifica dell' International School of Physics "Enrico Fermi", Corso 206: "New frontiers for metrology: from biology and chemistry to quantum and data science", Varenna, Italy, 4-13 luglio 2019. La scuola ha visto la partecipazione di 56 studenti, tra dottorandi, post-doc e ricercatori provenienti da tutto il mondo. Le lezioni sono state tenute da docenti di elevato profilo scientifico e di fama internazionale, incluso il Premio Nobel William Phillips, provenienti da Università e Istituzioni di Ricerca, nonché dal BIPM e dai principali istituti metrologici di tutto il mondo.

La revisione del Sistema Internazionale viene analizzata come sintesi di due concetti metrologici, delle unità *naturali* e delle unità *antropiche*. La pubblicazione della Instrumentation and Measurement Society di IEEE è inviata a stampa a tutti i soci iscritti nel mondo.

Callegaro, L.: Future trends in I&M: Connections with the universe. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol. 22, no. 3, pp. 25-27, 2019 (IF 4.532)

Seminari per la divulgazione della revisione del Sistema Internazionale, implementata il 20 maggio 2019.

L'INRiM ha svolto seminari e interventi presso le istituzioni accademiche e culturali, per l'impresa, il grande pubblico.

- “Il nuovo sistema internazionale delle unità di misura: una rivoluzione durata due secoli”, Liceo scientifico “Volta” (Torino), 31 gennaio 2019 (a cura di M. Pisani);
- “The redefinition of the International System of Units”, Università Tor Vergata di Roma, 12 febbraio 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “Il nuovo sistema internazionale delle unità di misura: una rivoluzione durata due secoli”, Giornata della misurazione, Torino, 14 febbraio 2019 (a cura di M. Pisani);
- “2019 un anno smisurato: cambiano le unità di misura fondamentali”, Liceo Classico “Manzoni”, Milano, 27 febbraio 2019 (a cura di M. Pisani, L. Callegaro, M. Sega, E. Massa);
- Colloquium di Fisica: “Il nuovo sistema internazionale delle unità di misura”, Università degli Studi di Padova, 28 febbraio 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “La ridefinizione del Sistema Internazionale delle unità di misura”, Università degli Studi di Trento, 20 marzo 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “Le misure contano”, Nautilus RAI Scuola, 20 marzo 2019 (a cura di L. Callegaro, E. Massa);
- “SI, storia ed attualità di un sistema di misure in costante evoluzione” nell’ambito di un corso di orientamento per talenti: La Fisica in gioco- (AIF), Torgnon 1 aprile 2019 (a cura di M. Sardi);
- “La ridefinizione del Sistema Internazionale di unità di misura”, XXXIII Convegno annuale dei Centri di Taratura accreditati, Milano, 2 aprile 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “La costante evoluzione del Sistema Internazionale: dalla sua nascita all’introduzione del nuovo SI”, XXXIII Convegno annuale dei Centri di Taratura accreditati, Milano, 2 aprile 2019 (a cura di M. Pisani);
- “La revisione del Sistema Internazionale: le unità elettromagnetiche”, Corso di Dottorato “Measurement of electrical impedance”, Torino, 9 aprile 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “Il nuovo sistema internazionale delle unità di misura”, IX Festival di Scienza e Filosofia, Foligno, 12 aprile 2019 (a cura di L. Callegaro);
- Tavola rotonda “SI cambia. Storia e orizzonti futuri della scienza delle misure” moderata dalla giornalista Silvia Bencivelli”, Torino, 18 maggio 2019 (a cura di M. Pisani, L. Callegaro, M. Sega, E. Massa);
- “Galileo ferraris al Galileo Ferraris: letture e racconti, SI cambia: diamo il benvenuto al nuovo sistema internazionale delle unità di misura”: apertura dei laboratori e degli spazi aulici del palazzo storico dell’INRiM, Torino, 18 maggio 2019 (a cura di L. Zilberti);
- Convegno “Le costanti della fisica come riferimento per pesi e misure: il lungo cammino verso le nuove definizioni”, Torino, 20 maggio 2019, in collaborazione con l’Accademia delle Scienze (interventi a cura di M. Pisani, M. Sega, L. Callegaro, R. Gavioso, E. Massa);
- Onda di scienza, manifestazione a chiusura delle Settimane della Scienza, Torino, 30 giugno 2019, in collaborazione con l’Associazione CentroScienza (a cura di M. Sardi, E. Olivetti, L. Martino, C. Sasso, A. Merlone, S. Cavallero);
- “The new kilogram (Il nuovo chilogrammo)”, XXXIX Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy, Pisa, 11 settembre 2019 (a cura di E. Massa);
- Tavola rotonda “Misurare non è più la stessa cosa”, Forum Nazionale delle Misure, Perugia, 12 settembre 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “Contando gli atomi. Il chilogrammo ed il nuovo Sistema Internazionale”, Festival delle eccezioni, Casperia, 20 settembre 2019 (a cura di E. Massa);
- Dialoghi col pubblico sulla “figura di Galileo Ferraris” e su “Misure e ricerca sostenibile”, Notte dei ricercatori, sede storica INRiM, 27 settembre 2019 (a cura di L. Zilberti, E. Ferrara);
- “Ridefinizione del Sistema Internazionale delle Unità di Misura”, Agenzia Formativa ENGIM Piemonte, Pinerolo, 14 ottobre 2019 (a cura di L. Oberto);
- “Il chilogrammo nel nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura”, 58° Congresso AIF - Associazione per l’Insegnamento della Fisica, Brescia, 17 ottobre 2019 (a cura di E. Massa);

- “Questione di Misura. Le novità introdotte nel 2018 per il Sistema Internazionale, Mantova Scienza, Mantova, 4 novembre 2019 (a cura di E. Massa);
- "Revision of the International System of Units (SI) and Quantum Metrology", seminario per gli studenti dei corsi di laurea e dottorato, Università di Bologna, sede di Cesena, 18 novembre 2019 (a cura di L. Callegaro);
- “Il nuovo Sistema Internazionale di Unità di Misura”, seminario per gli studenti del Liceo Internazionale Machiavelli (Firenze), INRiM, 3 dicembre 2019 (a cura di L. Callegaro).

4.4 – RISULTATI 2019 E CONFRONTO CON ANNI PRECEDENTI

Nelle tabelle successive sono presentati alcuni indicatori di produzione scientifica e tecnologica al 31 dicembre 2019.

I relativi dati analitici - con il dettaglio sui prodotti realizzati dalle Divisioni - sono riportati a parte nel fascicolo “*Risultati e dati 2019*”.

I prodotti INRiM sono stati suddivisi nelle tre seguenti categorie:

- Scientific Work (S)
- NMI Work (NMI)
- Knowledge Transfer Work (KT)

Tabella 6 – Pubblicazioni nel periodo 2017-2019

Descrizione	2017			2018			2019					
	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT
Volumi	-	-	-	3	1	1	2	-	-	2	-	-
Articoli su riviste indicizzate in Web of Science (per 2019: IF medio¹= 3.8)	153	123	23	146	114	26	167	130	35	2		
Altri articoli su riviste e capitoli di libro	21	7	3	30	14	7	10	7	3	7	-	3
Articoli su atti di congresso	35	22	9	42	24	15	57	33	22	2		
Rapporti tecnici	30	12	9	23	8	13	23	7	16	-		
Totali	239	164	44	244	161	62	259	177	73	9		

¹ IF medio 2018: 4.1; IF medio 2017: 4.1

La successiva Tab. 7 riporta i dettagli di ripartizione delle pubblicazioni 2019.

Tabella 7 – Distribuzione delle pubblicazioni 2019

Descrizione	ML			AE			QN			OTHER	TOT		
	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT		S	NMI	KT
Volumi	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	2
Articoli su riviste indicizzate in Web of Science	67	6	-	25	14	-	37	15	1	1S + 1KT	130	35	2
Altri articoli su riviste e capitoli di libro	3	-	-	2	-	2	2	-	1	-	7	-	3
Articoli su atti di congresso	12	-	-	17	5	-	4	17	2	-	33	22	2
Rapporti tecnici	2	3	-	5	8	-	-	5	-	-	7	16	-
Totali	84	9	-	49	27	3	43	37	5	2	177	73	9

Oltre alle pubblicazioni, nel 2019 l'INRiM ha al proprio attivo i prodotti riportati nella tabella 8, anch'essi distinti nelle categorie Scientific Work (S), NMI Work (NMI) e Knowledge Transfer Work KT.

I dati relativi alle attività di certificazione (Certificati di taratura e misura, Rapporti di prova e Relazioni ILC) sono riportati nella colonna delle attività NMI, in considerazione del fatto che tali prodotti sono strettamente legati all'accordo CIPM-MRA (vedi pagg. 9 e 10) e alla conseguente possibilità di emettere certificati di taratura e di misura con validità internazionalmente riconosciuta da tutti i Paesi firmatari dell'accordo stesso. Questi certificati sono uno dei principali risultati del ruolo di Istituto Metrologico Primario svolto dall'INRiM. Inoltre, una quota significativa dei certificati di taratura emessi dall'INRiM è rivolta a gruppi di ricerca e laboratori che operano all'interno dell'istituto stesso e sono essenziali al funzionamento di tali laboratori, in termini di garanzia della riferibilità metrologica dei risultati di misura di strumenti e apparecchiature impiegati sia nello svolgimento delle attività di ricerca sia nell'erogazione di servizi di taratura e prova.

E' da segnalare che, poichè parte della certificazione è commissionata dalle industrie e l'ANVUR (Agenzia Nazionale per la Valutazione della Ricerca), nello scorso esercizio della Valutazione delle Attività di terza Missione, ha incluso l'attività conto terzi svolta verso committenza esterna tra le attività di Knowledge Transfer, i dati relativi a certificati di taratura e misura, rapporti di prova e relazioni ILC sono riportati anche nella tabella 9.

Tabella 8 - Altri prodotti

Descrizione	2017			2018			2019		
	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT
Progetti di ricerca attivi nell'anno	56	10	18	61	11	24	50	29	25
di cui nuovi	23	1	7	21	3	14	14	10	11
Certificati di taratura e misura		1.842			1.882			1.624	
Rapporti di prova		33			27			40	
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider)			102			145		138	
Altri documenti tecnici		111			198			26	
CMC pubblicate sul KCDB del BIPM		406			402			403	
Laboratori accreditati ⁶		185			196			206	
Procedure di taratura		224			245			213	
Documenti e procedure del Sistema Qualità		23			33			26	
Confronti chiave e internazionali		46			33			47	
On site peer review visits (di NMI stranieri)		1			1			1	
Progetti di strumenti, apparati o impianti	11	2	-	10	5	-	12	7	1
Manufatti e realizzazioni di rilievo	10	2	1	6	7	3	17	14	2

⁶. Laboratori accreditati dal Dipartimento ACCREDIA-DT con il supporto tecnico dell'INRiM.

Nelle tabelle seguenti sono invece riportati i principali prodotti di trasferimento delle conoscenze.

Tabella 9 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica

Descrizione	2017	2018	2019
	<i>KT</i>	<i>KT</i>	<i>KT</i>
Certificati di taratura e misura ⁷	1.842	1.882	1.624
Rapporti di prova ⁷	33	27	40
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider) ⁷	102	145	138
Brevetti ⁸ depositati in Italia o all'estero	1		
Estensioni di brevetto all'estero		1	1
Dottorati (triennali) attivati nell'anno	4	7	5
Tesi concluse nell'anno (dottorato)	10	14	12
Tesi concluse nell'anno (II livello)	9	20	8
Tesi concluse nell'anno (I livello)	15	17	24
Tirocini curriculari per master I Livello			3
Tirocini curriculari per laurea triennale			60
Tirocini extracurriculari post laurea magistrale			2
Tirocini extracurriculari post diploma			19
Stage PCTO (ex ASL) per scuola secondaria di II grado			32
Ricercatori stranieri presso INRiM (mesi-persona)	26,5	29	36
Ricercatori INRiM all'estero (mesi-persona)	16,5	30	17
Seminari INRiM di esperti esterni	20	22	15
Organizzazione corsi di formazione per esterni ed interni	2	8	14
Organizzazione congressi, convegni e riunioni tecniche	19	25	29
Eventi scientifico - divulgativi	135	26	17
Media communications		153	82
Eventi, comunicati stampa e interviste per ridefinizione SI		113	99

⁷ Si vedano le indicazioni riferite alla tabella 8.

⁸ Sono censiti sia i brevetti depositati da INRiM sia quelli di "inventori" dell'INRiM, ma depositati da altri organismi, in genere partner industriali. Sul basso numero di brevetti depositati, valgono le considerazioni già espresse sulla tendenza dei ricercatori a dare maggiore importanza alla pubblicazione che non al brevetto e sulle difficoltà/costi della gestione delle procedure brevettuali. Si continuerà a incoraggiare questa attività, operando per una sua maggiore valutazione rispetto ad altri "prodotti".

5 – RISORSE DI PERSONALE PER L'ATTIVITÀ SCIENTIFICA

I dati relativi al personale della Direzione Scientifica dell'INRiM nel 2019 (Tempo Indeterminato e Tempo Determinato) sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 10 - Personale TI e TD (al 31/12/2019)

DIREZIONE SCIENTIFICA	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
<i>Tot 2019 (TI)</i>	9	29	66	55	4	163
<i>Tot 2019 (TD)</i>	-	-	2	-	-	2
<i>Tot 2018</i>	10	30	62	54	3	159
<i>Tot 2017</i>	9	25	60	53	4	151
<i>Tot 2016</i>	11	25	56	52	3	147

La tabella successiva riporta i dati relativi al personale assegnista e borsista che presta servizio all'INRiM.

Tabella 11 – Altro personale

Altro Personale	Personale in servizio al 31-12-2019	Tipologia fonte di finanziamento	
		NON FOE	FOE
Assegni di ricerca	39	39	-
Borse di addestramento alla ricerca	1	1	-
Totale	40	40	-

PARTE 2 – Schede di attività

1 – Direzione scientifica

Direttore scientifico: Maria Luisa Rastello

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

<i>Personale</i>	<i>TPE</i>
Maria Luisa Rastello	0,80
Paola Tiberto	0,20
Michela Segà	0,20
Davide Calonico	0,20

La Direzione Scientifica è composta dal Direttore Scientifico e dal Consiglio di Direzione, del quale fanno parte i Responsabili di Divisione e un pari numero di membri eletti dalla comunità scientifica e tecnica dell'ente (come da artt. 13 e 15 del nuovo Statuto dell'INRiM ai sensi del DLgs n. 218 del 25/11/2016).

La composizione del Consiglio di Direzione nel 2019 è stata la seguente:

- Maria Luisa Rastello (Direttore Scientifico)
- Paola Tiberto (Resp. di Divisione)
- Michela Segà (Resp. di Divisione)
- Davide Calonico (Resp. di Divisione)
- Vittorio Basso (membro eletto)
- Ivo Pietro Degiovanni (membro eletto)
- Claudio Origlia (membro eletto)
- Marco Pisani (membro eletto)

Nel 2019 il Consiglio di Direzione ha tenuto 14 riunioni.

CAMPI DI ATTIVITÀ

Le Divisioni in cui si è strutturata la Direzione Scientifica nel 2019 sono tre:

Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML) - La Divisione sviluppa la scienza delle misure e i materiali innovativi con attenzione alle ricerche e alle applicazioni nelle scienze della vita. La Divisione cura temi quali la tutela della salute con riferimento alle applicazioni diagnostiche e terapeutiche, la qualità e sicurezza dell'alimentazione, le misurazioni biologiche e chimiche, i materiali funzionali e intelligenti, gli ultrasuoni e l'acustica.

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

- ML1: Scienza e tecnologia alla nanoscala
- ML2: Campi e sistemi elettromagnetici
- ML3: Acustica e ultrasuoni
- ML4: Scienze e tecnologie biomediche
- ML5: Magnetismo, materiali e spintronica

Metrologia applicata e ingegneria (AE) - La Divisione sviluppa la scienza delle misure e le tecnologie con attenzione all'ingegneria e alle necessità industriali. La Divisione ha il compito di realizzare e disseminare le unità di misura delle grandezze meccaniche e delle grandezze termodinamiche, nonché di disseminare le unità di misura delle grandezze elettriche. La Divisione cura temi quali la mobilità sostenibile, il monitoraggio ambientale e il clima, l'impiego razionale dell'energia, e lo sviluppo di strumenti metrologici a supporto della crescente digitalizzazione del mondo contemporaneo.

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

- AE1: Metrologia della massa e delle grandezze apparentate
- AE2: Metrologia della lunghezza
- AE3: Misure elettriche ed elettroniche
- AE4: Termodinamica fisica
- AE5: Termodinamica applicata

Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN) - La Divisione sviluppa la scienza delle misure e le nanotecnologie con attenzione alle applicazioni quantistiche. La Divisione ha il compito di realizzare e disseminare le unità di misura del tempo e della frequenza, delle grandezze fotometriche e delle grandezze radiometriche, nonché di realizzare le unità di misura delle grandezze elettriche. La Divisione cura la mutua applicazione tra la metrologia e temi quali la fisica atomica e molecolare, la fotonica, l'elettronica quantistica, i dispositivi quantistici e le misurazioni quantistiche.

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

- QN1: Chimica fisica e nanotecnologie
- QN2: Elettronica quantistica
- QN3: Fotometria e radiometria
- QN4: Ottica quantistica
- QN5: Tempo e frequenza

La Direzione Scientifica si pone inoltre l'obiettivo di diffondere la cultura metrologica e della qualità (in applicazione dell'accordo CIPM MRA) e di promuovere le attività di Public Engagement al fine di coinvolgere sempre più il tessuto sociale del Paese. In questa direzione opera il settore interdivisionale costituito appositamente per estendere l'operatività dall'attuale livello provinciale e regionale a iniziative divulgative a carattere nazionale, con fonti di finanziamento dedicate.

Il Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica svolge le seguenti attività:

- diffusione della cultura scientifica/metrologica (attività di Public Engagement e di Formazione Continua o Permanente);
- organizzazione/gestione dei tirocini curricolari, extracurricolari, di orientamento e dei PCTO;
- diffusione della cultura della qualità in applicazione dei requisiti necessari per la partecipazione all'accordo CIPM MRA (tra cui l'esecuzione di peer review) e come strumento di gestione;
- gestione delle pubblicazioni scientifiche e dei prodotti dell'Ente – gestione dei database - Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR) e Valutazione delle Attività di Terza Missione;
- gestione dei certificati di taratura, dei rapporti di prova e delle relazioni ILC, in applicazione delle indicazioni della procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) dell'INRiM relativamente alla loro emissione dopo la preparazione/redazione da parte delle divisioni;
- gestione delle operazioni di preparazione della documentazione scientifica istituzionale prevista dallo Statuto dell'INRiM;
- supporto al DS nelle riunioni del Consiglio di Direzione;
- supporto nella gestione di pratiche riguardanti il personale scientifico.

La presentazione dei risultati nelle schede di Divisione riportate di seguito si riferisce ai Programmi definiti nel Piano Triennale 2018-2020. In generale, i risultati raggiunti sono in buon accordo con i risultati attesi.

Distribuzione del personale per struttura

I dati relativi al personale delle Divisioni e della Segreteria Scientifica sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 12 - Personale TI distribuito nelle Divisioni (al 31/12/2019)

Div	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
AE	2	11	20	26		59
ML	3	10	22	14		49
QN	4	8	23	14		49
Segr. Sci.			1	1	4	6
Tot 2019	9	29	66	55	4	163
Tot 2018	10	30	62	54	3	159
Tot 2017	7	21	48	26	3	105
Tot 2016	8	21	46	25	3	104

Hanno continuato ad operare l'unità distaccata di "Radiochimica e Spettroscopia" presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Pavia (il cui personale afferisce in parte alla divisione "Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita" e in parte alla divisione "Metrologia quantistica e nanotecnologie") e l'unità distaccata di "Intrappolamento laser di ioni e molecole" presso il Laboratorio Europeo di Spettroscopia Non Lineare (LENS) di Sesto Fiorentino (il cui personale afferisce alla divisione "Metrologia quantistica e nanotecnologie").

Distribuzione delle risorse umane per tipologia di attività

Nelle tabelle in testa a ciascun settore è rappresentata la distribuzione del personale tra R&S (Scientific Work), NMI Work (mantenimento, *upgrading*, confronti internazionali e collaborazione in organismi metrologici internazionali, disseminazione), Terza Missione (Knowledge Transfer) e altre attività (gestionali e di supporto a qualità, sicurezza e normazione) specifiche di ogni settore. L'attività classificata come Scientific Work è in gran parte indirizzata alla metrologia come sviluppo di nuovi campioni e di nuovi metodi di misura, e alle attività di ricerca di base in genere; mentre, come NMI Work si è inteso evidenziare il complesso di altre attività tecnico-scientifiche che danno origine a "prodotti" specifici di un istituto nazionale di metrologia.

La distinzione tra R&S (Scientific Work), NMI Work e Terza Missione è stata adottata su indicazione del Comitato di Valutazione, come riportato nel documento "Evaluation of Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica 2013". La distinzione è stata recepita dall'Anvur, che ha messo in valutazione le attività di Terza Missione attraverso la compilazione della Scheda Unica Annuale della Ricerca Dipartimentale (SUA-RD), e dal Miur che ha introdotto apposite schede per la ricerca istituzionale (NMI Work) e per le attività di Terza Missione (Knowledge Transfer Work) nella documentazione del Piano Triennale.

La distribuzione 2019 delle risorse umane dell'INRiM per tipologia di attività è riportata nel seguente grafico; il dettaglio delle Divisioni è invece riportato nella tabella successiva.

Risorse umane (TPE) per tipologia di attività

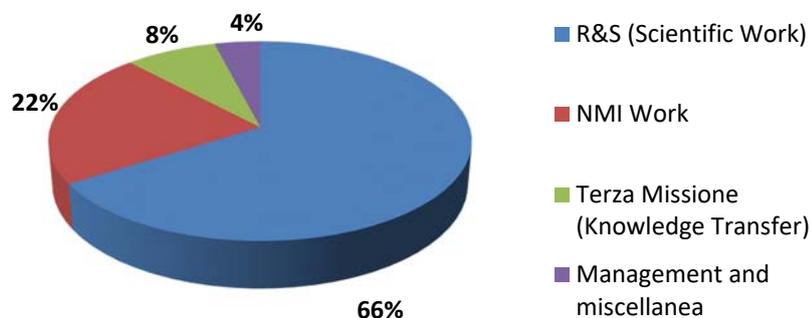


Tabella 13 – Divisioni: risorse umane (TPE) per tipologia di attività

Div	R&S (Scientific Work)	NMI Work	Terza Missione (Knowledge Transfer Work)	Management and miscellanea	Totale
ML	50	12,55	3,10	2	67,65
AE	36,60	23,80	7,75	4,05	72,20
QN	57,80	12,10	7,35	2,70	79,95
Totale	144,40	48,45	18,20	8,75	219,80
%	66%	22%	8%	4%	100%

Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica

Responsabile: Maria Luisa Rastello

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

<i>Personale</i>	<i>TPE</i>
Lucia Bailo	1
Michela Borla	0,80
Silvia Cavallero	0,25
Ezio Dragone	0,75
Claudia Rota	1
Marina Sardi	1

Attività e risultati conseguiti

Le attività di cui si occupa il Settore sono le seguenti.

Diffusione della cultura scientifica/metrologica (attività di Public Engagement e di Formazione Continua o Permanente)

Tra le attività di *Public Engagement* di cui si occupa il Settore, una parte significativa riguarda l'organizzazione delle visite ai laboratori da parte di scuole e privati cittadini.

Nel 2019 l'INRiM ha partecipato alle "Settimane della Scienza" (6,7,8,9 maggio e 12 giugno) organizzando, in collaborazione con Associazione Centroscienza Onlus di Torino, le visite ai propri laboratori di ricerca. I laboratori hanno accolto scuole (di diverso ordine e grado, nonché provenienti da diverse Regioni) e privati, per un totale di circa 450 visitatori. L'iniziativa ha riguardato 16 laboratori di diversa estrazione e ha coinvolto circa 50 persone dell'Istituto (tra ricercatori, tecnici e amministrativi) nei compiti di divulgazione delle attività di ricerca e di orientamento dei visitatori.

E' stato organizzato anche l'evento "Bambini e bambine: un giorno all'università", dedicato alle visite delle scuole primarie e realizzato in collaborazione con ITER (Comune Torino) e Agorà Scienza. L'evento, il cui scopo è il coinvolgimento e la sensibilizzazione dei cittadini del futuro sulle tematiche scientifiche, si è svolto nei giorni 11 e 12 marzo e ha riguardato circa 80 visitatori. Sono stati utilizzati 5 laboratori e coinvolte 12 persone (tra ricercatori, tecnici e amministrativi) nei compiti di presentazione delle attività di ricerca e di orientamento dei visitatori.

Altre visite da parte di scuole sono state organizzate singolarmente, a cura del Settore, nel corso dell'anno, accogliendo circa 630 studenti ed insegnanti, oltre a gruppi di privati cittadini. Sono state coinvolte 32 persone tra il personale dell'INRiM.

Il Settore ha collaborato con il Comune di Torino, nell'ambito di GRAN TOUR Piemonte, con l'apertura della sede storica dell'INRiM alla visita di un gruppo di privati (21 novembre), a cui sono stati dedicati un seminario sulla figura di Galileo Ferraris e un tour presso il laboratorio LATFC; l'iniziativa ha coinvolto 25 visitatori e 5 dipendenti INRiM impegnati nelle attività di divulgazione e di supporto ai visitatori.

L'INRiM ha partecipato a Onda di scienza presso il Mausoleo Bela Rosin a Mirafiori il 30 giugno, evento conclusivo delle Settimane della Scienza a Torino, presentando esperimenti didattici, giochi sul sistema Internazionale e colloqui con il pubblico su clima e misure.

Anche nel 2019, il 27 settembre, l'INRiM è stato presente alla NOTTE dei Ricercatori, sia presso il Museo del Risorgimento, sia con l'apertura della sede storica di corso Massimo d'Azeglio, con seminari, esperimenti scientifici, giochi per ragazzi, visita al laboratorio LATFC.

L'INRiM ha aderito alla mostra Mirafiori dopo il Mito, organizzata da Fondazione Mirafiori dal 10 al 25 ottobre presso il Polo del '900, esponendo copie di alcuni campioni di misura (chilogrammo e sfera, essendo il 2019 anno di ridefinizione del SI); un video sull'INRiM è stato prodotto a cura della Fondazione, fruibile su smart phone attraverso una piattaforma interattiva collocata nei locali del Polo e su Youtube. Scopo della mostra è capire cosa stia accadendo sul territorio di Mirafiori, sul quale insiste anche l'istituto, dopo le trasformazioni post-industriali; la mostra verrà replicata in altre sedi e in altre città.

Tutte le attività descritte sono state organizzate da personale del Settore Interdivisionale con la partecipazione di ricercatori, tecnologi e tecnici.

Poiché la metrologia fa parte dei programmi scolastici ed è propedeutica e complementare a diversi insegnamenti, per quanto attiene la formazione continua si sono conclusi gli incontri per gli insegnanti (VII edizione) aventi come tema la formazione e la pratica educativa della metrologia, con il sostegno di USR Piemonte e in collaborazione con Ce.Se.Di, ente formativo della Città Metropolitana di Torino che ogni anno organizza giornate e corsi di aggiornamento per insegnanti e attività sperimentali per studenti, pubblicizzandoli mediante un catalogo on-line. Un Protocollo di Intesa con questi Enti è in corso di rinnovo.

Si è concluso il progetto "Mirafiori - la scuola con la marcia in più" con la Fondazione Mirafiori, e per il terzo anno si è svolta un'attività didattica rivolta a più classi (su metrologia e stati fisici della materia) presso le scuole del quartiere con la collaborazione di alcuni ricercatori. La finalità è sostenere le scuole del territorio che in questi anni soffrono di un calo di iscrizioni e scongiurare la chiusura di alcune di esse, una scuola è un presidio su un territorio.

A settembre 2019 si è avviato il progetto "Batti il 5!", di portata nazionale, in collaborazione con le Fondazioni di Comunità, progetto che ha sostituito il precedente con analoghe finalità. L'offerta dell'INRiM si è diversificata con il coinvolgimento di altri ricercatori, rispetto al numero iniziale, a fronte di una maggiore richiesta da parte delle scuole; il personale del Settore ha prestato il proprio supporto alle attività didattiche svolte dal personale Ricercatore dell'INRiM nelle scuole del quartiere Mirafiori Sud.

Sempre nell'ambito della Formazione Continua, il personale del Settore ha partecipato, in qualità di docente con un intervento dal titolo "Organizzazione della metrologia a livello nazionale ed internazionale", ad un corso di aggiornamento organizzato dall'INRiM (marzo/aprile 2019) dal titolo "Fondamenti di metrologia"; il corso, dedicato al personale di e-distribuzione (Enel), si è articolato in due sessioni identiche destinate a due diversi gruppi di discenti, provenienti da tutta Italia.

Nel 2019 è proseguita l'attività di divulgazione scientifica per i progetti di ricerca EURAMET MyRailS e MICEV, giunti all'ultimo anno di lavori:

- presentazione del progetto MyRailS alla manifestazione EXPO Ferroviaria, tenutasi a Milano dal 1° al 3 ottobre 2019 (allestimento e presidio dello stand INRiM, attività di comunicazione e ufficio stampa durante e dopo l'evento);
- preparazione di contenuti per l'aggiornamento del sito web e della pagina facebook del progetto MyRailS;
- contributo all'organizzazione del Workshop "Wireless Charging of Vehicles" nell'ambito del progetto MICEV (creazione di una landing page per l'iscrizione dei partecipanti, promozione del corso attraverso la realizzazione di un flyer elettronico e l'invio di annunci mirati);

Il personale del Settore ha inoltre partecipato alle seguenti iniziative.

- EURAMET Communication Workshop, tenutosi a Bruxelles dal 5 al 6 novembre 2019, con una comunicazione sulle attività svolte dall'INRiM per celebrare l'introduzione del nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura;
- riunioni dell'Osservatorio d'Area del Quartiere Mirafiori Sud per la promozione di attività didattiche extrascolastiche sul territorio.

Si è inoltre provveduto ad aggiornare le pagine web del sito INRiM dedicate alla formazione e alla divulgazione scientifica.

Organizzazione/gestione dei tirocini curricolari, extracurricolari, di orientamento e dei PCTO

Nel 2019 il personale del Settore ha gestito i Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (PCTO), ex alternanza scuola lavoro, rivolti alle scuole secondarie di II grado. Sono stati realizzati 30 Percorsi per studenti di licei e istituti tecnici. Tutta l'organizzazione dei tirocini è stata seguita curando i rapporti con gli uffici amministrativi interni all'INRiM e quelli delle scuole, con gli insegnanti tutor scolastici, verificando i requisiti previsti dal Servizio Prevenzione e Protezione e mantenendo i contatti con i colleghi tutor per la collocazione presso i laboratori. Un progetto PCTO che è stato seguito anche in qualità di tutor è quello di ASL veicolato dal CESEDI, che è stato realizzato con l'Istituto Santorre di Santarosa, coinvolgendo 14 studenti del corso di TECNOLOGIE Ambientali che hanno realizzato a turno le esperienze del corso insegnanti, per un totale di 20 ore; al termine hanno presentato ai compagni i risultati del loro lavoro nell'ambito del trasferimento peer to peer.

Sono stati presentati i tirocini curricolari per la laurea triennale alla giornata INFOSTAGE19 del Politecnico e alla facoltà di Fisica di UNITO, raccogliendo le proposte dai colleghi ricercatori e tecnologi. In questo ambito il Settore ha gestito il popolamento delle pagine del portale Stage&Job del Politecnico per le proposte INRiM.

Nel 2019 sono stati avviati 19 tirocini extracurricolari per neodiplomati di istituti tecnici. Il personale del Settore, in collaborazione con la Segreteria Generale, ha seguito tutte le fasi di assegnazione dei tirocini, i contatti con i tirocinanti, con le scuole di provenienza ed i tutor scolastici, la redazione dei progetti formativi, la verifica dei requisiti indicati dal Servizio di Prevenzione e Protezione, i contatti con i tutor interni fino all'avvio dei Tirocini. Si è operato un monitoraggio costante fornendo supporto anche ai tirocinanti per ogni tipo di problematica.

Si è fornita anche consulenza ai colleghi per l'inserimento di tirocinanti/studenti o giovani ricercatori in stage provenienti dai altri Paesi.

Diffusione della cultura della qualità in applicazione dei requisiti necessari per la partecipazione all'accordo CIPM MRA (tra cui l'esecuzione di peer review) e come strumento di gestione

Nel 2019 il personale del Settore si è impegnato a diffondere la cultura metrologica e della qualità (in ottemperanza all'accordo CIPM-MRA) sia all'interno dell'Ente che all'esterno tramite seminari dedicati.

In particolare, nel Settore opera la persona di contatto nazionale presso il TC-Quality dell'EURAMET che ha rappresentato l'Italia alla riunione annuale del TC-Q che si è tenuta a Lubiana (SLO) dal 16 al 18 aprile 2019, durante la quale ha valutato le performances dei QMS di una consistente frazione degli NMIs/DIs Europei ed ha poi illustrato l'infrastruttura italiana della Qualità e la struttura e le attività del SGQ dell'INRiM. Nel corso del meeting, sono stati valutati positivamente sia il rapporto annuale che il rapporto di rivalutazione quinquennale.

Il Settore si è anche occupato dell'organizzazione logistica (con l'assistenza del personale addetto all'organizzazione di eventi) e delle comunicazioni relative alla Peer review annuale (progetto EURAMET 1123 "On site peer review") sostenuta dall'Istituto a dicembre 2019, supportando gli esperti spagnoli e portoghesi (CEM – Centro Español de Metrología e IPQ - Instituto Português da Qualidade) nell'attività di revisione del SGQ dell'INRiM, nella attività di revisione dei laboratori impegnati nelle misure in DC, AC, e bassa frequenza, nelle misure di pressione e nelle misure sui materiali magnetici.

Si inquadra nell'ottica della condivisione e scambio di esperienze relative alla cultura della qualità l'attività di Reviewer del personale svolta sempre all'interno del progetto Euramet 1123, che nel 2019 si è concretizzata in una peer review (parte di sistema) svolta presso l'Istituto Idrografico della Marina Militare Portoghese (IH-LQPM).

È inoltre attiva una collaborazione del personale del Settore all'interno della EMN "Tracelabmed" sulla riferibilità delle misure in medicina e sull'organizzazione in qualità di laboratori medicali, operanti in base alle norme UNI EN ISO 15189:2013 e ISO 15195: 2018; la riferibilità potrebbe essere fornita tramite materiali di riferimento prodotti in conformità alla ISO 17034:2016.

Gestione delle pubblicazioni scientifiche e dei prodotti dell'Ente – gestione dei database - Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR) e Valutazione delle Attività di Terza Missione

Il personale del Settore si è occupato della raccolta e gestione ordinaria delle pubblicazioni tecnico-scientifiche dell'Ente. Per assolvere tali compiti si è avvalso di appositi database, ovvero Iris (l'Institutional Repository delle pubblicazioni e di altri prodotti della ricerca di produzione Cineca) e il database "Rapporti Tecnici dell'INRiM" (creato nel 2019 dal personale dei Sistemi Informatici dell'Istituto), che raccoglie i Rapporti Tecnici interni.

Per quanto riguarda IRIS, nel 2019 si è provveduto a:

- effettuare la "pulizia" periodica del database allo scopo di eliminare i prodotti duplicati per errore o non correttamente inviati a loginmiur attraverso gli automatismi previsti dal software;
- supportare il personale nelle operazioni di inserimento, modifica e cancellazione dei prodotti;
- aggiornare i profili dell'utenza, in considerazione degli avvicendamenti legati a pensionamenti e nuove assunzioni;
- contattare il Customer Portal Cineca per la risoluzione di problemi di varia natura;
- partecipare a Webinar sull'utilizzo dell'Institutional Repository e sulle eventuali nuove implementazioni, e al Focus Group del Cineca (dedicato agli enti che usufruiscono di Iris, allo scopo di condividere problematiche e proporre modifiche al database).

Per quanto concerne invece il database "Rapporti Tecnici dell'INRiM", il Settore ha provveduto alla registrazione dei prodotti inviati dal personale INRiM e al loro inserimento nella piattaforma.

Il Settore ha gestito anche le esperienze professionali inserite dai ricercatori e tecnologi dell'INRiM all'interno di Loginmiur (il database attraverso cui il MIUR rileva i dati dei ricercatori italiani - curriculum vitae, esperienze

professionali e pubblicazioni - e li utilizza per partecipazione ai PRIN, Valutazione della Qualità della Ricerca, Abilitazione Scientifica Nazionale, etc). Al database accede direttamente il personale dell'Istituto, inserendo le proprie informazioni; il personale del Settore ha provveduto ad amministrare i dati relativi alle esperienze professionali, certificando di volta in volta le esperienze inserite dai singoli o inserendole direttamente se non presenti.

Gestione dei certificati di taratura, dei rapporti di prova e delle relazioni ILC, in applicazione delle indicazioni della procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) dell'INRiM relativamente alla loro emissione dopo la preparazione/redazione da parte delle divisioni

Il Settore ha curato la gestione dei certificati di taratura e prova emessi dalle divisioni nonché la gestione dei documenti relativi alle attività di Confronti interlaboratorio (ILC) organizzati dall'INRiM in qualità di Proficiency Testing Provider (PTP).

I certificati sono stati presi in carico a partire dalla firma dei responsabili di Divisione fino alla trasmissione della copia cartacea all'Amministrazione. Le pratiche sono state controllate e implementate con il logo CIMP MRA ove necessario.

A seguire, attraverso l'utilizzo del software Titulus di CINECA, la Segreteria Scientifica ha provveduto alla creazione di un fascicolo per ogni pratica, nel quale è stata inserita sia la copia del documento tecnico (certificati di taratura esterni ed interni, relazioni ILC, rapporti di prova) sia la copia della documentazione amministrativa (preventivo, ordine, avanzamento commessa). Le stesse sono state inviate, in copia conoscenza, al Responsabile dell'attività, all'assistente della qualità, al richiedente INRiM nel caso di certificati interni, alla Segreteria Generale e all'UO Ufficio contabilità attraverso la funzione "invia email di notifica" di Titulus. In caso di esplicita richiesta, il documento tecnico, firmato in tutte le sue parti, è stato anticipato al committente previo controllo da parte dell'U.O. Contabilità e fornitori della solvenza del committente stesso.

Tutte le operazioni descritte sono state effettuate in applicazione delle indicazioni della procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) dell'INRiM.

Nel 2019 il personale del Settore ha gestito e processato circa 1.800 documenti.

Gestione delle operazioni di preparazione della documentazione scientifica istituzionale prevista dallo Statuto dell'INRiM

Nel 2019 il personale del Settore ha prodotto, con il contributo delle Divisioni e il prezioso supporto degli uffici amministrativi e del Servizio Gestione Qualità, i tre seguenti documenti:

- Risultati e dati 2018: nel documento sono censiti nel dettaglio i prodotti dell'Istituto, distinti nelle tre categorie "Scientific Work", "NMI Role Work" e "Knowledge Transfer Work";
- Piano Triennale di Attività 2019-2021: rappresenta la programmazione triennale dell'Ente, richiesta annualmente dal MIUR;
- Relazione Consuntiva di attività scientifica 2018: costituisce la sintesi dei risultati scientifici conseguiti dall'istituto nell'anno, ricavati da "Risultati e dati 2018" e in accordo con la programmazione triennale dichiarata nel PTA.

Supporto al Direttore Scientifico nelle riunioni del Consiglio di Direzione

Il Settore ha provveduto alla ricezione delle pratiche da sottoporre al Consiglio di Direzione e ha coadiuvato il Direttore Scientifico nella gestione delle attività propedeutiche e strumentali alle riunioni del Consiglio, con particolare riguardo alla redazione dei verbali, alla loro divulgazione e alla successiva realizzazione delle azioni definite dal Consiglio.

Supporto nella gestione di pratiche riguardanti il personale scientifico

Il Settore ha gestito il flusso di tutte le pratiche che necessitano della validazione/firma dei responsabili di Divisione e/o del Direttore Scientifico, operando in coordinamento con gli Uffici amministrativi dell'istituto e fornendo supporto al Direttore Scientifico, ai Responsabili di Divisione e al personale della direzione scientifica. In particolare, è stato fornito un significativo supporto al personale scientifico e tecnico per tutto quello che ha riguardato la preparazione della documentazione amministrativa di competenza del Direttore Scientifico. Il Settore ha provveduto a raccogliere e gestire le richieste di attivazione di bandi di concorso e selezione,

nonché le richieste di proroga e rinnovo del personale con contratto a tempo determinato e assegni di ricerca. Il personale ha raccolto, anche nel 2019, i dati relativi al personale attivo in Istituto e alla sua localizzazione nelle divisioni e nei laboratori.

Il Settore ha gestito le procedure riguardanti le richieste di associazione con incarico di ricerca fatte all'Istituto; tali richieste sono state inviate al Direttore Scientifico e sottoposte al Consiglio di Direzione. Successivamente, si è provveduto alle operazioni necessarie per il conferimento delle associazioni.

Il Settore ha predisposto e archiviato la documentazione relativa al Dottorato di Ricerca in Metrologia del Politecnico di Torino; ha inoltre partecipato alle riunioni della Scuola di Dottorato, calendarizzato le attività previste e cooperato con la Scuola di Dottorato del Politecnico.

Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Responsabile: Paola Tiberto

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2019

Ricercatori e Tecnologi: 35. Tecnici: 14

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 20. Associati e incarichi: 14

Articolazione delle attività

La Divisione è impegnata nello sviluppo degli aspetti scientifici e tecnologici connessi con la metrologia applicata agli ambiti dei materiali avanzati, delle scienze della vita dell'uso razionale dell'energia. Per rispondere a queste esigenze, la Divisione è suddivisa in cinque settori di ricerca tematici.

SETTORI	
ML1: Scienza e tecnologia alla nanoscala (Natascia De Leo)	L'attività riguarda la realizzazione di materiali 3D e 2D utilizzando tecniche di manipolazione alla nanoscala. In particolare, lo sviluppo di sistemi di riferimento alla micro e nanoscala per la metrologia e la scienza delle superfici. Il settore sviluppa inoltre materiali funzionali e metamateriali per strutture fotoniche. Nel campo dei dispositivi nanoelettronici per la sensoristica e la metrologia si occupa della fabbricazione e caratterizzazione di nanomagnetometri SQUID, array Josephson, Sensori Transition Edge Sensors (TES) per il conteggio di singoli fotoni nelle regioni spettrali del visibile e IR, nanofili superconduttivi per singolo fotone alle microonde ed altri.
ML2: Campi e sistemi elettromagnetici (Gabriella Crotti)	L'attività del Settore è finalizzata a rispondere alle esigenze metrologiche funzionali per lo sviluppo di riferimenti, sensori, metodi di previsione e misura per l'implementazione di sistemi elettrici ed elettromagnetici energeticamente efficienti e sicuri in termini di emissioni di campo elettromagnetico. Gli ambiti di attività riguardano la riferibilità delle misure di tensioni e correnti in sistemi a trazione elettrica, reti elettriche e dispositivi di potenza, la misura riferibile di potenza in sistemi di trasferimento dell'energia con tecnologia wireless e la caratterizzazione dosimetrica dell'esposizione umana ai campi generati dai sistemi elettrici, elettromagnetici e dalle apparecchiature biomedicali.
ML3: Acustica e ultrasuoni (Giovanni Durando)	L'attività del settore si divide nelle aree di Acustica in Aria e Ultrasuoni. L'impegno del settore è generalmente indirizzato al mantenimento dei servizi di taratura e certificazione. Nell'ambito degli ultrasuoni, l'attività di ricerca riguarda lo sviluppo della scienza metrologica nei campi della salute.
ML4: Scienze e tecnologie biomediche (Alessandra Manzin)	L'attività è rivolta a fornire il supporto metrologico per lo sviluppo tecniche diagnostiche e terapeutiche e, in particolare, allo sviluppo di metodi di misura, materiali e strumenti di calcolo per applicazioni nell'ingegneria biomedica e nella medicina di laboratorio. In particolare, il settore realizza campioni, materiali e metodi per garantire la riferibilità delle misure nell'ambito della medicina di laboratorio. Sviluppa inoltre metodi matematici e modelli numerici innovativi per le applicazioni nell'ambito dell'ingegneria biomedica.
ML5: Magnetismo, materiali e spintronica (Gianfranco Durin)	L'attività di ricerca e sviluppo del settore si sviluppa intorno alle attività di preparazione su scala nanometriche e micrometrica, caratterizzazione e modellizzazione di materiali magnetici. L'attività riguarda inoltre il miglioramento delle capacità di misura di campi magnetici e della caratterizzazione di materiali magnetici in un ampio spettro di condizioni, sia nanometriche che bulk. Il settore si occupa infine di estendere le capacità di misura e le applicazioni dei materiali magnetici a nuove aree collegate a energia, salute, ambiente e beni culturali.

La Divisione complessivamente è attiva nell'ambito delle tre missioni dell'INRIM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede di Settore. Nel corso del 2019 la Divisione ha pubblicato 76 lavori su rivista internazionale (di cui 73 con Impact Factor) e ha partecipato a 25 contratti di ricerca nazionali e internazionali, molti dei quali nell'ambito dell'European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), di cui quattro coordinati dalla Divisione

(16ENG04 MyRailS e 16ENG08 MICEV per ML02; 18HLT05 Quiero per ML04 e 18HLT06 Rachy per ML03). Nell'ambito del programma H2020, la Divisione partecipa inoltre a due progetti MSCA ITN riguardanti i materiali magnetoelettrici. La Divisione è stata infine particolarmente attiva nella proposizione di proposte di progetto in tutte le Call EMPIR 2019, ottenendo fra gli altri l'approvazione di due nuovi progetti a coordinamento INRiM nella Call Energy (HEFMAG, ML05) e Normative (IT4PQ, ML02).

Nel corso del 2019, la Divisione ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività relative alle quattro reti di EURAMET denominate European Metrology Networks (EMN), quali:

EMN on Smart Electricity Grid, coordinata da VSL, che si propone come punto di contatto tra la comunità metrologica e gli stakeholder del sistema elettrico, in grado di massimizzare l'impatto delle attività di ricerca e sviluppo e di fornire risposte coerenti alle problematiche di misura relative al futuro delle reti elettriche e alla transizione energetica in corso. La Divisione è inoltre coinvolta nel progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

EMN for Mathematics and Statistics, coordinata da PTB, il cui scopo è di costituire un punto di coordinamento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni e convegni dedicati. La Divisione è inoltre coinvolta nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

EMN on Traceability in Laboratory Medicine, coordinata da PTB, il cui scopo è quello di costituire un punto di riferimento a livello europeo per i laboratori clinici che operano nel contesto della medicina di laboratorio e della diagnostica in vitro, con riferimento alla nuova Regolamentazione EU (European In-Vitro Diagnostic Device Regulation (IVDR) 2017/746), che richiede la riferibilità delle misure e dei materiali di riferimento. La Divisione è inoltre coinvolta nel progetto 18NET02 TraceLabMed, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

Ricerca e Sviluppo

Nel corso del 2019 la Divisione ha partecipato a 17 progetti di ricerca internazionali, di cui 4 coordinati da INRiM. Di seguito si riportano i risultati di maggior rilievo ottenuti nell'ambito delle diverse linee di attività nei cinque settori.

ML1-Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

- **Sistemi modello 3D per materiali di riferimento e standard**

E' stato ottimizzato il processo di self-assembly di mescole ternarie di copolimeri a blocchi con omopolimeri a basso peso molecolare e incrementato l'ordine a lungo raggio delle nanostrutture di un ordine di grandezza. Sono state ottenute di strutture gerarchiche mediante processi di dewetting.

- **Materiali funzionali e metamateriali**

E' stato raggiunto un ordine a lungo raggio maggiore di un micrometro grazie all'inclusione di omopolimeri all'interno delle maschere polimeriche di copolimeri. Questo ha permesso di realizzare strutture periodiche nanostrutturate all'interno di guide micrometriche realizzate con litografia laser. E' stato inoltre realizzato un setup di misura delle proprietà ottiche dei materiali metallo/dielettrici nanostrutturati.

- **Dispositivi nanoelettronici per la sensoristica e la metrologia**

Sono state realizzate nano-strisce di Nb con larghezze variabili da 40 a 200 nm e caratterizzazione elettrica in ambiente criogenico dei dispositivi ottenuti. E' stata ottenuta la propagazione di nanostrutture realizzate per self-assembly su film di Nb e Au.

- **Dispositivi memresistivi alla nanoscala**

E' stato ottimizzato il processo di fabbricazione di dispositivi memresistivi basati su singoli nanofili. Caratterizzazione elettrica AC e DC di tali dispositivi per valutazione delle proprietà memresistive. Emulazione di funzionalità sinaptiche in tali dispositivi.

- **Mezzi disordinati altamente diffusivi**

Sono stati analizzati il ruolo della densità di materiale, il grado di correlazione strutturale e il grado di anisotropia strutturale in geometria reticolari tridimensionali sono stati studiate. Le procedure ottimizzate per la separazione di fase sono state definite.

ML2-Campi e sistemi elettromagnetici

- **Misure per i sistemi a trazione elettrica**

Il setup di taratura dei misuratori di potenza ed energia genera tensioni e correnti DC sino a 4 kV e 2 kA con contenuto ac sino a 30 kHz per la tensione e a 300 Hz per la corrente. Il circuito che misura e inietta la corrente nel dispositivo in prova supporta una tensione di modo comune verso terra superiore a 4 kV, permettendo la verifica in condizioni reali dei trasduttori. L'incertezza associata alla generazione di potenza costante è 250 μ W/W con tempo di integrazione 5 ms. La metodologia di identificazione dell'arco elettrico è stata validata, applicandola ad un set di eventi registrati in campo. Una prima indagine sulla potenziale brevettabilità della metodologia ha dato esito positivo.

- **Misure per il trasferimento wireless dell'energia nei sistemi di potenza**

L'errore di rapporto del divisore di riferimento è risultato inferiore a 1 mV/V a 100 kHz e a 5.5 mV/V a 200 kHz. E' stato messo a punto il sistema di misura (Power measurement Unit - PwMU) per la caratterizzazione di stazioni di ricarica induttiva, con riferimento alle grandezze elettriche, magnetiche, e al rendimento. La PwMU, primo sistema di misura riferibile del suo genere sviluppato presso un laboratorio metrologico, include una "board unit" per le misure elettriche a bordo, una "ground unit" per quelle a terra e una "magnetic unit" per le misure legate all'esposizione umana. Le tre unità sono sincronizzate mediante GPS. La PwMU è stata validata presso la stazione di ricarica di Circe Foundation a Saragozza (Spagna), nell'ottobre 2019. I risultati ottenuti sono stati pubblicati o sottomessi per la pubblicazione in tre diversi lavori.

- **Misure per i sistemi elettrici ed elettromagnetici**

Si è messo a punto un modello magnetomeccanico-isteretico per un *harvester* in Fe-Ga, che ha evidenziato la necessità di un raccordo tra la costante del metodo iterativo e il precarico meccanico, a differenza di quanto riscontrato per altri materiali a magnetostrizione gigante. Simulazioni e dati sperimentali sono risultati in buon accordo, con scarti inferiori al 5%. I risultati sono stati pubblicati su rivista. In collaborazione con l'IIT di Genova è stato realizzato un sensore autonomo vibrazionale che implementa un sensore Bluetooth Low Energy in un *harvester* magnetostrittivo.

Sono state effettuate le prime caratterizzazioni di trasformatori e sensori non convenzionali in presenza di disturbi realistici di Power Quality. Il sistema di generazione e misura di forme d'onda arbitrarie ha consentito la riproduzione e la misura di disturbi stazionari e di segnali dinamici con incertezze entro lo $0.5 \cdot 10^{-3}$. I risultati dello studio relativo all'esposizione dei lavoratori sono stati sottomessi per la pubblicazione sulla rivista *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

ML3 - Acustica in aria e ultrasuoni

- **Ultrasuoni**

E' stato realizzato e progettato un sistema d'insonazione basato su High Intensity Focused Ultrasound, HIFU (sfruttando le proprietà del Far Field) per le attività di sperimentazione in vitro e in vivo, da realizzarsi presso Ospedale san Raffaele di Milano) previste all'interno del progetto 18HLT06- RaCHy. Sono stati quindi realizzati sistemi d'insonazione operanti nel range di frequenza 1 MHz – 3MHz basati su trasduttori ad onda piana. Tali sistemi verranno utilizzati nella sperimentazione in vitro ed in vivo presso l'IRCCS Carlo Besta di Milano.

ML4 – Scienze e tecnologie biomediche

- **Applicazioni terapeutiche di campi elettromagnetici, ultrasuoni e nanomateriali**

Nel progetto EMPIR Rachy, avviatosi nel 2019, si è iniziata l'analisi modellistica di nanomateriali per ipertermia magnetica, valutando l'influenza delle proprietà fisico-geometriche sul calore specifico prodotto, e si è intrapreso lo studio modellistico di applicatori per ipertermia EM alle radiofrequenze. Si è sviluppato un codice di calcolo per la simulazione del trasporto guidato di nanoparticelle magnetiche in vasi sanguigni e si è avviato lo studio del riscaldamento di protesi metalliche in pazienti sottoposti a ipertermia magnetica. Nel progetto

CRT sullo studio di nanomateriali con effetto antimicrobico si è proseguita la preparazione di nanogocce in PFC caricate con ossigeno e farmaci e si è iniziata la realizzazione di set-up per monitorare le dinamiche di rilascio del farmaco sotto l'effetto di ultrasuoni. Nel progetto ERC-BIORECAR, sono stati caratterizzati i processi di riprogrammazione, in matrici di idrogel, di fibroblasti in cardiomiociti mediante tecnica ddPCR, metodi metabolici e tecniche di microscopia.

- **Misura di biomarcatori e diagnostica in vitro (IVD)**

Nel progetto EMPIR NeuroMet si è ottimizzata la tecnica ddPCR e si è caratterizzata l'incertezza di misura nella valutazione dei miRNA come potenziali biomarcatori per la diagnosi precoce dell'Alzheimer. Attraverso la tecnica di analisi per attivazione neutronica strumentale, si sono ottimizzate le procedure di misura del Co in campioni di capelli di pazienti con protesi metalliche, monitorati presso l'IOR di Bologna. Nel progetto EMPIR NanoMag si è effettuata la modellizzazione di sonde MFM, microspire metalliche e nano/microsensori Hall in grafene e oro, per applicazioni nella sensoristica magnetica (e.g. rilevamento di nanoparticelle). Si è infine contribuito alla redazione dei rapporti finali dei progetti EMPIR NeuroMet e NanoMag, conclusosi nel 2019.

- **Imaging diagnostico basato su MRI**

Nell'ambito del progetto EMPIR QUIERO, avviatosi nel 2019, si è studiata, mediante metodi Monte Carlo, la propagazione del rumore nei problemi inversi impiegati nella tecnica *Electrical Properties Tomography* per diagnostica MRI. Sono stati realizzati e caratterizzati *phantom* per MRI, investigando i parametri che influenzano i tempi di rilassamento, le proprietà elettriche e la stabilità nel tempo. Nel progetto EMPIR MIMAS, sono state studiate le interazioni tra campi di gradiente da tomografi MRI e impianti metallici per applicazioni ortopediche. Si è infine installato e caratterizzato un set-up per la verifica sperimentale di tali effetti.

- **Tecniche innovative di microscopia**

Si è realizzato un dispositivo per tomografia ottica computerizzata basato su interferometria a bassa coerenza a 1.5 μm , che consente di ottenere immagine tomografiche con incertezze dimensionali dell'ordine di 5-10 μm e profondità di penetrazione fino a 3 mm. Si è ripristinato il microscopio multimodale CARS-SHG-TPEF per effettuare esperimenti in time-lapse su sistemi cellulari vivi. Infine, sono stati realizzati metodi di misura basati su microscopia AFM per la caratterizzazione del modulo elastico e dei processi di adesione di organismi modello, quali il protozoo ameboide *Dictyostelium discoideum*.

ML5 – Magnetismo, materiali e spintronica

- **Trasporto di spin e della dinamica di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche e nei materiali per l'energia**

Sono stati sviluppate le seguenti tematiche: a) dinamica di magnetizzazione controllata da effetti di spin-torque e spin-orbita in diverse configurazioni (pareti di Bloch e Néel, vortici, skyrmion, spin waves); b) termodinamica di non-equilibrio per il trasporto di momento magnetico e calore nei solidi e nelle interfacce (spincaloritronica, effetto spin Seebeck); c) teorie e modelli per il processo di magnetizzazione scalare e vettoriale e per le trasformazioni di fase dei materiali funzionali per l'energia; d) simulazioni micromagnetiche per la realizzazione di sistemi computazionali neuromorfici.

- **Metodi di misura magnetica e sensori**

Sono state sviluppate tecniche di: a) misura della dinamica di magnetizzazione uniforme o non uniforme (spin-wave, vortici, skyrmions, etc.) tramite microonde, magneto-ottica, MFM; b) misura della costante di interazione Dzyaloshinskii-Moriya; c) misura per l'ipertermia da nanostrutture magnetiche; d) misura della costante di magnetostriazione in film sottili tramite microscopia a scansione di sonda (AFM); f) misura statica e dinamica per i materiali magnetici per l'energia (in regime mono e bi-dimensionale), per l'ambiente, l'archeologia e i beni culturali.

- **Imaging magnetico**

Sono state sviluppate tecniche di microscopia ad alta risoluzione con l'utilizzo di film indicatori magnetici ed MFM per la misura quantitativa riferibile di campi magnetici. Sono stati effettuati confronti con i risultati ottenuti mediante tecniche complementari (MFM calibrato, magneto-ottica con film indicatori). Nell'ambito del progetto Nanomag è stato allestito un setup microscopico che con l'utilizzo di film indicatori ha permesso la misura quantitativa degli stray fields generati da campioni di riferimento.

- **Preparazione di materiali per la spintronica, il nanomagnetismo e materiali innovativi**

Sono state preparate nanostrutture da film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves e per la magneto-meccanica. Si realizzerà la sintesi e la funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche anche core-shell in vista di possibili impieghi nel campo biomedico (agenti di contrasto per diagnostica tramite risonanza magnetica, per ipertermia magnetica o per somministrazione guidata di farmaci). Sono state preparate leghe magnetiche in forma massiva, con differenti proprietà funzionali (dure, magnetostrittive) tramite tecniche di solidificazione rapida (suction casting) e metallurgia delle polveri. Si è messa a punto per la prima volta una tecnica di idrogenazione sonochimica di leghe metalliche per applicazioni magnetocaloriche e per storage di idrogeno (collaborazione con ML4).

Ricerca istituzionale (ruolo NMI)

La Divisione mantiene e sviluppa Campioni Nazionali. Nel 2019 sono risultati attivi 5 confronti di misura internazionali e sono stati emessi più di 200 certificati di taratura e prova, distribuiti principalmente nelle aree EM-Electric and magnetic fields, EM-High Voltage and Current e AUV-Sound.

Per quanto riguarda la **Scienza e Tecnologia alla nanoscala**, si segnala nell'ambito della collaborazione con IMEC (Leuven, Belgio) l'avvio di un confronto internazionale sull'Atom Probe Tomography (APT) con campioni di riferimento fabbricati in INRiM nell'ambito del TWA2 Surface Chemical Analysis del progetto Vamas ((Versailles Project on Advanced Materials and Standards). Nel 2019 il settore ha rappresentato l'INRiM al Vamas Steering Committee meeting 44, NIST, Boulder, Colorado (USA). Lo Steering Committee 46 sarà ospitato in INRiM nel maggio 2021.

In ambito **Campi e sistemi elettromagnetici** il settore ha partecipato all'avvio della rete metrologica europea Smart Electricity Grids (SEG) e del progetto 18NET03 SEG-net ideando un questionario per la raccolta del materiale per la formazione che verrà reso disponibile ai partner della EMN-SEG. Il settore ha supportato inoltre le attività dei comitati tecnici di riferimento, fornendo contributi su incertezza di misura (TC 38WG55), trasformatori e sensori per reti di media e alta tensione (IEC TC38WG47, CEI CT38), misure su sistemi e componenti elettrici ed elettronici per trazione ferroviaria IEC TC9 e CEI CT9, misura di campi elettromagnetici (CEI CT106).

Si è effettuato un confronto di misura di induzione magnetica da 10 Hz a 100 kHz con NPL e SPEAG, che ha permesso la validazione dei sistemi di generazione realizzati nell'ambito del progetto 16ENG08MICEV. E' stata estesa la riferibilità delle misure di forti correnti alternate sino a 10 kA e, per le tensioni AC e DC, alle misure in presenza di ripple o distorsioni e in condizioni dinamiche, quali quelle riscontrabili in reti elettriche, sistemi ferroviari e di ricarica induttiva di potenza. Sono state revisionate 11 procedure tecniche di misura.

Il settore **Acustica e Ultrasuoni** cura per l'Acustica in Aria l'attività di ispezione per ACCREDIA a cui si sommano attività di training in Capacity Building in ambito Acustico (Taratura fonometri e calibratori multifrequenza). Per gli ultrasuoni ha avuto luogo un'attività di peer review presso INMETRO-Brasile. Il personale afferente al settore collabora stabilmente con gli enti di normazione nazionali, CEI, presiedendo il comitato CEI CT29/87 "Acustica e Ultrasuoni", enti di normazione internazionali, IEC TC 29 "Elettroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics". Sovrintende i lavori del sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e partecipa ai lavori del sottocomitato "Sound in Air".

Il personale, su delega del presidente, ha coordinato la partecipazione alla riunione del comitato consultivo CCAUV.

Il settore **Scienze e tecnologie Biomediche** ha partecipato al confronto CCQM-P197 "Proliferative stem cell number per unit area", finalizzato alla valutazione delle capacità di misura di cellule proliferanti mediante microscopia a fluorescenza. Ha contribuito alla stesura del report finale del confronto CCQM-P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate". Ha inoltre effettuato misure dimensionali di griglie per microscopia propedeutiche allo sviluppo del protocollo di misura per lo studio pilota CCQM-P197 e ha partecipato alla pubblicazione dei risultati del confronto CCQM-165 "Quantification of CD34+ cell counts" su rivista scientifica internazionale.

Al fine di ottimizzare il metodo k0-INAA per la misura di elementi principali e in tracce, sono state effettuate misure di gradiente di flusso neutronico nei canali di irraggiamento del reattore Triga Mark II (presso l'Università di Pavia). È stata inoltre rilasciata la prima versione del software k0-INRiM per l'elaborazione dei dati di misura di frazioni di massa di elementi chimici con il metodo di standardizzazione k0.

Il personale del settore ha infine contribuito alle attività di Networking tra NMI contribuendo al censimento degli

stakeholder delle reti EMN TraceLabMed e MATHMET.

Il settore **Magnetismo, Materiali e Spintronica** nell'anno 2019 ha concluso il progetto EMPIR JRP "Nanomag" con produzione del rapporto finale. Ha inoltre contribuito alla definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle (progetto EMPIR MagNaStand). E' stata infine completata una peer review del laboratorio di Misure Magnetiche (11-12 dicembre 2019).

Le CMC in ambito magnetico, in particolare nella metrologia del campo magnetico (< 20 mT) e nelle perdite di energia nei materiali magnetici in regimi non convenzionali, sono state migliorate e consolidate.

Campioni nazionali (DM 591/1993)

ML2	Campione di intensità di campo elettrico
ML5	Campione nazionale di flusso di induzione magnetica
ML5	Campione nazionale di induzione magnetica

Altri campioni

ML2	Sistema di generazione di campi magnetici campione (sino a 100 kHz)
ML2	Campione di rapporto di alta tensione continua fino a 100 kV
ML2	Campione di rapporto di alta tensione alternata fino a 100 kV
ML2	Sistema campione per la misura di trasformatori di corrente
ML2	Sistema campione per strumenti di misura di scariche parziali
ML3	Potenza ultrasonora (1 campione)

Trasferimento di conoscenze

La Divisione è impegnata in attività di formazione e didattica accademica, di divulgazione scientifica e di trasferimento tecnologico. Si riportano le principali di seguito, rimandando alle schede di settore per maggiori dettagli.

Didattica universitaria e formazione

Personale della Divisione partecipa al Consiglio di Dottorato in Metrologia (Vice-coordinamento INRiM), al consiglio di dottorato in Fisica del Politecnico di Torino. Si effettuano corsi per il Dottorato di Ricerca (Politecnico di Torino), il corso "Fisica dello Stato Solido", Dip. Scienze e Innovazione Tecnologica, Università del Piemonte orientale. Personale della Divisione è coinvolto nell'organizzazione di Scuole scientifiche e di Simposi nazionali e internazionali. Tutti i settori sono impegnati nell'attività di tutoring di studenti, tirocini curriculari per studenti universitari del terzo anno, tesi di Laurea Magistrale, tesi di Dottorato. Sono stati quindi svolti seminari presso Università.

Divulgazione scientifica

Sono state svolte lezioni tematiche presso scuole elementari, medie e superiori. Partecipazione alla "Notte europea dei ricercatori 2019". Ricercatori della Divisione hanno partecipato ad iniziative di formazione e diffusione della cultura scientifica. Sono stati infine accolti studenti in progetti di alternanza scuola-lavoro previsti dalla Legge 107/2015.

Trasferimento tecnologico

La Divisione effettua trasferimento tecnologico attraverso contratti industriali (i.e. Terna S.p.A, CESI s.p.a, Three-ES). I ricercatori effettuano inoltre attività di supporto tecnico e di consulenza alle imprese nei campi di interesse della Divisione.

Settore ML1 - Scienza e tecnologia alla nanoscala
Responsabile: Natascia De Leo

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Giampiero Amato	0,60	0,10	0,30		1
Angelo Angelini	1				1
Luca Boarino	0,60	0,10	0,10	0,20	1
Natascia De Leo	0,70			0,30	1
Federico Ferrarese Lupi	1				1
Matteo Fretto	0,90		0,1		1
Eugenio Monticone	1				1
Lorenzo Pattelli	1				1
Roberto Rocci	1				1
Angelo Sardi	0,10		0,40		0,50
Personale TD					
Sara Nocentini	1				1
Assegni ricerca					
Eleonora Cara	1				1
Gianluca Milano	1				1
Personale in formazione					
Irdi Murataj	1				1
Personale associato					
Emiliano Descrovi					
Michele Laus					
Nicola Pinto					
Javad Redzvani					
Totale	11,90	0,20	0,90	0,50	13,50

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Sistemi modello 3D per materiali di riferimento e standard <i>Obiettivi.</i> Realizzazione di sistemi e materiali di riferimento 3D nano-strutturati mediante tecniche litografiche convenzionali e innovative (litografia UV, litografia a fascio elettronico e ionico e self-assembly supramolecolare. <i>Attività svolta.</i> Sono state realizzate strutture per Directed Self Assembly di copolimeri a blocchi mediante litografia laser e Reactive Ion Etching. <i>Risultati ottenuti.</i> Ottimizzazione del processo di self-assembly di mescole ternarie di copolimeri a blocchi con omopolimeri a basso peso molecolare e incremento dell'ordine a lungo raggio delle nanostrutture di un ordine di grandezza. Ottenimento di strutture gerarchiche mediante processi di dewetting.</p>
<p>Materiali funzionali e metamateriali <i>Obiettivi.</i> Progettazione e realizzazione di metasuperfici plasmoniche nanostrutturate mediante self-assembly di copolimeri a blocchi e tecniche litografiche convenzionali. <i>Attività svolta.</i> Sono stati ottimizzati i processi di self-assembly di copolimeri a blocchi al fine di aumentare l'ordine a lungo raggio e lo spessore di nanostrutture lamellari e cilindriche. E' stata studiata la possibilità di includere selettivamente metalli e ossidi metallici all'interno delle nanostrutture mediante tecniche di elettrodeposizione e di atomic layer deposition (ALD). <i>Risultati ottenuti.</i> Grazie all'inclusione di omopolimeri all'interno delle maschere polimeriche di copolimeri a blocchi è stato raggiunto un ordine a lungo raggio maggiore di un micrometro. Questo ha permesso di realizzare strutture periodiche nanostrutturate all'interno di guide micrometriche realizzate con litografia laser. E' stato inoltre realizzato un setup di misura delle proprietà ottiche dei materiali metallo/dielettrici nanostrutturati.</p>
<p>Dispositivi nanoelettronici per la sensoristica e la metrologia <i>Obiettivi.</i> Investigare approcci tecnologici innovativi nel campo del nanopatterning di superfici e di film sottili</p>

mediante la combinazione di tecniche di litografia a fasci elettronici e ionici con tecniche di direct self-assembly su vasta area, mirando allo studio e alla fabbricazione di strutture e dispositivi superconduttori su scala nanometrica (al di sotto dei 40 nm, sino ai 10 nm). Utilizzare materiali bidimensionali come strati di mascheramento innovativi per la litografia ad alta risoluzione, finalizzati ad applicazioni metrologiche e a studi di fisica fondamentale.

Attività svolta. Messa a punto di processi di litografia elettronica per la realizzazione di nanostrisce da 200 nm fino a 30 nm di larghezza, ottimizzando i parametri di esposizione e sviluppo per la geometrizzazione di film superconduttori ultrasottili. Studio della propagazione di nanopatterning per self-assembly di nano-oggetti.

Risultati ottenuti. Realizzazione di nanostrisce di Nb con larghezze variabili da 40 a 200 nm e caratterizzazione elettrica in ambiente criogenico dei dispositivi ottenuti. Propagazione di nanostrutture realizzate per self-assembly su film di Nb e Au.

Dispositivi memresistivi alla nanoscala

Obiettivi. Realizzazione e sviluppo di dispositivi memresistivi alla nanoscala. Studio delle proprietà memresistive e del meccanismo fisico alla base delle funzionalità di tale dispositivo. Studio delle proprietà di conduzione ionica ed elettronica attraverso caratterizzazioni elettriche di materiali memresistivi. Caratterizzazione chimica e strutturale per lo studio della riconfigurazione atomica del dispositivo a seguito di stimolazione elettrica. Caratterizzazione elettrica dei dispositivi alla nanoscala per l'emulazione di funzionalità delle sinapsi biologiche per lo sviluppo di architetture in grado di implementare paradigmi di computazione neuromorfici.

Attività svolta. Realizzazione e caratterizzazione elettrica di dispositivi memresistivi basati su nanofili.

Risultati ottenuti. Ottimizzazione del processo di fabbricazione di dispositivi memresistivi basati su singoli nanofili. Caratterizzazione elettrica AC e DC di tali dispositivi per valutazione delle proprietà memresistive. Emulazione di funzionalità sinaptiche in tali dispositivi.

Mezzi disordinati altamente diffusivi

Obiettivi. Design e caratterizzazione ottica di materiali micro e nanostrutturati ad alta forza di scattering per la fabbricazione di rivestimenti multi-funzionali. I materiali di interesse principale sono di origine biologica o ispirati ad essi, ottenuti tramite tecniche di self-assembly quali la separazione di fase. Oltre che per le loro proprietà ottiche, i materiali ottenuti possono essere selezionati anche per le loro proprietà termiche, di bagnabilità, per l'assenza di nanoparticelle e l'impiego di materiali a basso indice di rifrazione, ad esempio polimeri.

Attività svolta. Design, analisi numerica e caratterizzazione sperimentale delle proprietà ottiche delle strutture 3D ottenute.

Risultati ottenuti. Comprensione del ruolo della densità di materiale, del grado di correlazione strutturale e del grado di anisotropia strutturale in geometria reticolari tridimensionali. Definizione di procedure ottimizzate per la separazione di fase di materiali porosi polimerici.

Ruolo NMI

VAMAS

Attività svolta. Attività pre-normative sui materiali avanzati nell'ambito del Vamas (Versailles Project on Advanced Materials and Standards).

Risultati ottenuti.

Nell'ambito della collaborazione con IMEC (Leuven, Belgio) è stato avviato un confronto internazionale sull'Atom Probe Tomography (APT) con campioni di riferimento fabbricati in INRiM nell'ambito del TWA2 Surface Chemical Analysis del progetto Vamas.

Nel 2019 l'INRiM è stato rappresentato al Vamas Steering Committee meeting 44, NIST, Boulder, Colorado (USA) e in tale occasione è stata presentato il meeting dello Steering Committee 46 che sarà ospitato in INRiM nel maggio 2021.

Terza missione

Formazione e didattica

Attività svolta.

- Organizzazione di Scuole scientifiche e di Simposi nazionali e internazionali
- Formazione accademica, internazionale, tecnica con attivazione di attività di tutoring di studenti, tirocini curriculari per studenti universitari del terzo anno, tesi di Laurea Magistrale, tesi di Dottorato. Sviluppo e divulgazione on-line di moduli e-learning relativi alla micro e nanofabbricazione.

Risultati ottenuti.

- Tutoraggio di due Dottorati in Metrologia Ciclo XXX e XXXI

- Co-organizzazione della conferenza NanoInnovation 2019, Roma, Italia
- Corso di Fisica dello Stato Solido c/o UNIUPO
- Co-organizzazione del corso "Photonics of complex systems" per l'International Doctorate in Atomic and Molecular Photonics c/o UNIFI
- Organizzazione di seminari a tema nei corsi della Laurea Magistrale c/o UNIFI

Settore ML2 - Campi e sistemi elettromagnetici
Responsabile: Gabriella Crotti

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Oriano Bottauscio ⁽¹⁾	0,20		0,10		0,30
Gabriella Crotti	0,50	0,30	0,10	0,10	1
Domenico Giordano	0,70	0,20	0,10		1
Mauro Zucca	0,80	0,10	0,10		1
Luca Zilberti ⁽¹⁾	0,20		0,10		0,30
Andrea Agosto ⁽²⁾	0,30	0,60		0,10	1
Federico Fissore	0,30	0,70			1
Valter Giusio	0,10	0,90			1
Giorgio Varetto	0,30	0,70			1
Giuseppe Vizio	0,10	0,90			1
Assegni ricerca					
Alessandro Arduino ⁽¹⁾	0,30				0,30
Mohammad Modarres	0,60				0,60
Umberto Zanovello ⁽¹⁾	0,30				0,30
<i>Totale</i>	<i>4,70</i>	<i>4,40</i>	<i>0,50</i>	<i>0,20</i>	<i>9,80</i>
Personale in formazione					
Palma Sara Letizia	1				1
Davide Signorino	1				1
Personale associato					
Michele Borsero		0,10			0,10
Mario Chiampi	0,10				0,10
Totale	6,80	4,50	0,50	0,20	12

⁽¹⁾ collaborazione con ML4 (TPE 0,70);

⁽²⁾ svolge attività anche come Assistente per la Qualità in SGQ.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Misure per i sistemi a trazione elettrica (SC)</p> <p><i>Obiettivi.</i> 1. - Messa a punto di un set-up per generazione di <i>phantom-power</i> (8 MW) per la taratura di misuratori di energia in applicazioni ferroviarie DC. 2 - Sviluppo di metodi per l'identificazione di fenomeni di arco elettrico per diagnostica predittiva del contatto linea-pantografo e messa a punto di un brevetto</p> <p><i>Attività svolta.</i> Nell'ambito del progetto EMPIR 16ENG09MyRailS, è stato sviluppato un setup di riferimento per la generazione di potenza DC, sino a 8 MW e forma d'onda arbitraria. E' stato caratterizzato un sistema commerciale di misura dell'energia a bordo treno per sistemi DC 3 kV. Si è sviluppata una metodologia per l'identificazione degli archi elettrici dovuti a distacco del pantografo che sfrutta l'analisi degli effetti condotti rilevabili con i sistemi di misura di tensione e corrente già installati a bordo treno.</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Il setup di taratura dei misuratori di potenza ed energia genera tensioni e correnti DC sino a 4 kV e 2 kA con contenuto ac sino a 30 kHz per la tensione e a 300 Hz per la corrente. Il circuito che misura e inietta la corrente nel dispositivo in prova supporta una tensione di modo comune verso terra superiore a 4 kV, permettendo la verifica in condizioni reali dei trasduttori.</p> <p>L'incertezza associata alla generazione di potenza costante è 250 μW/W con tempo di integrazione 5 ms. La metodologia di identificazione dell'arco elettrico è stata validata, applicandola ad un set di eventi registrati in campo. Una prima indagine sulla potenziale brevettabilità della metodologia ha dato esito positivo.</p> <p>Misure per il trasferimento wireless dell'energia nei sistemi di potenza (SC)</p> <p><i>Obiettivi.</i> 1. - Realizzazione e validazione di un divisore campione per tensioni sino a 1000 V da DC a 200 kHz. 2. - Hardware, software e procedura di taratura per la determinazione delle matrici di correzione</p>

di misuratori di tensione commerciali per applicazioni nei veicoli elettrici. **3.** - Sistema di acquisizione per misura *in situ* dell'esposizione al campo magnetico.

Attività svolta. E' continuata l'attività in merito al progetto EMPIR 16ENG08 MICEV inerente la ricarica induttiva dei veicoli elettrici. L'attività ha riguardato lo sviluppo di un divisore di tensione di riferimento per misure di tensione a larga banda (fino a 200 kHz) con tensioni DC fino a 1 kV (isolamento 3 kV), per misure DC o DC+AC (contenuto ac sino ~15%). Si sono sviluppate inoltre tecniche di taratura per misuratori di tensione basate sul nuovo riferimento. Infine, ci si è concentrati sullo sviluppo di un complesso sistema di misura per la caratterizzazione di stazioni di ricarica induttiva per veicoli elettrici.

Risultati ottenuti. L'errore di rapporto del divisore di riferimento è risultato inferiore a 1 mV/V a 100 kHz e a 5.5 mV/V a 200 kHz. E' stato messo a punto il sistema di misura (Power measurement Unit - PwMU) per la caratterizzazione di stazioni di ricarica induttiva, con riferimento alle grandezze elettriche, magnetiche, e al rendimento. La PwMU, primo sistema di misura riferibile del suo genere sviluppato presso un laboratorio metrologico, include una "board unit" per le misure elettriche a bordo, una "ground unit" per quelle a terra e una "magnetic unit" per le misure legate all'esposizione umana. Le tre unità sono sincronizzate mediante GPS. La PwMU è stata validata presso la stazione di ricarica di Circe Foundation a Saragozza (Spagna), nell'ottobre 2019. I risultati ottenuti sono stati pubblicati o sottomessi per la pubblicazione in tre diversi lavori

Misure per i sistemi elettrici ed elettromagnetici (SC)

Obiettivi. 1. - Analisi e misura delle prestazioni di un harvester magneto-elastico abbinato a una batteria ricaricabile Li-Ion e a un sistema trasmettitore. 2. - Database di forme d'onda di fenomeni reali di *power quality* e sistema di generazione e misura. 3. - Definizione di un metodo per la correzione degli errori di trasformatori induttivi di misura. 4. Definizione di una metodologia di valutazione del rischio di esposizione a campi elettrici e magnetici per il personale impegnato in lavori sotto tensione in reti AT

Attività svolta. L'attività sui microgeneratori magnetostrittivi in cooperazione con l'Università di Tampère è proseguita con lo studio sull'accoppiamento tra sensori autonomi e harvesters magnetostrittivi. E' continuata l'attività relativa alla simulazione di un *harvester* Fe-Ga con un modello magnetomeccanico isteretico.

Nell'ambito del progetto EMPIR 17IND06 Future Grid II è stato messo a punto un sistema di generazione di forme d'onda arbitrarie sino a 22 kV con contenuto spettrale sino a 9 kHz. In cooperazione con l'Università della Campania è stato definito un set di disturbi di *Power Quality* stazionari e variabili nel tempo.

Sono state condotte le prime sperimentazioni di un metodo semplificato per la correzione degli errori di rapporto e d'angolo introdotti in frequenza dai trasformatori induttivi di misura.

E' stato effettuato uno studio per l'analisi dell'esposizione dei lavoratori ai campi magnetici durante manutenzioni in vicinanza di forti sorgenti di esposizione, quali impianti elettrici in alta tensione, in condizioni di impianto attivo.

Risultati ottenuti. Si è messo a punto un modello magnetomeccanico-isteretico per un *harvester* in Fe-Ga, che ha evidenziato la necessità di un raccordo tra la costante del metodo iterativo e il precarico meccanico, a differenza di quanto riscontrato per altri materiali a magnetostrizione gigante. Simulazioni e dati sperimentali sono risultati in buon accordo, con scarti inferiori al 5%. I risultati sono stati pubblicati su rivista. In collaborazione con l'IIT di Genova è stato realizzato un sensore autonomo vibrazionale che implementa un sensore Bluetooth Low Energy in un harvester magnetostrittivo.

Sono state effettuate le prime caratterizzazione di trasformatori e sensori non convenzionali in presenza di disturbi realistici di *Power Quality*. Il sistema di generazione e misura di forme d'onda arbitrarie ha consentito la riproduzione e la misura di disturbi stazionari e di segnali dinamici con incertezze entro lo $0.5 \cdot 10^{-3}$.

I risultati dello studio relativo all'esposizione dei lavoratori sono stati sottomessi per la pubblicazione sulla rivista *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Ruolo NMI

Partecipazione a organismi metrologici e tecnici

Obiettivi. Avvio della rete metrologica europea *Smart Electricity Grids* e del progetto 18NET03 SEG-net.

Attività svolta e Risultati ottenuti. In ambito EURAMET, l'INRiM ha contribuito ai lavori del SC *Power&Energy*, e alle attività della rete *Smart Electricity Grids* (EMN-SEG); in relazione al progetto EMPIR 18NET-03 SEG-net ha ideato un questionario per la raccolta del materiale per la formazione che verrà reso disponibile ai *partner* della EMN-SEG. Il settore ha partecipato inoltre alle attività dei comitati tecnici di riferimento, fornendo contributi su incertezza di misura (TC 38WG55), trasformatori e sensori per reti di media e alta tensione (IEC TC38WG47, CEI CT38), misure su sistemi e componenti elettrici ed elettronici per trazione ferroviaria IEC TC9 e CEI CT9, misura di campi elettromagnetici (CEI CT106).

Sviluppo di campioni, confronti di misura e CMC

Obiettivi. Organizzazione del confronto di misura di induzione magnetica ed estensione di CMC

Attività svolta e risultati ottenuti.

Si è effettuato un confronto di misura di induzione magnetica da 10 Hz a 100 kHz con NPL e SPEAG, che ha permesso la validazione dei sistemi di generazione realizzati nell'ambito del progetto 16ENG08MICEV. E' stata estesa la riferibilità delle misure di forti correnti alternate sino a 10 kA e, per le tensioni AC e DC, alle misure in presenza di *ripple* o distorsioni e in condizioni dinamiche, quali quelle riscontrabili in reti elettriche, sistemi ferroviari e di ricarica induttiva di potenza. E' stata sottomessa la richiesta di l'estensione di 4 CMC per le grandezze rapporto corrente AC (1 CMC) e induzione magnetica (3 CMC).

Disseminazione e supporto alle attività di accreditamento

Obiettivi. Emissione/revisione di procedure di taratura ed estensione del campo di misura della CMC per il rapporto di forti correnti alternate; rafforzamento dell'attività di disseminazione

Attività svolta e risultati ottenuti. E' proseguita l'attività di disseminazione nei settori di competenza (alte tensioni DC e AC e rapporto di forti correnti AC, campi elettromagnetici) con l'emissione di 160 certificati di taratura per laboratori industriali e di protezione ambientale. E' stato effettuato un confronto inter-laboratorio con un centro di taratura accreditato. Sono state revisionate 11 procedure tecniche di misura.

Terza missione

Trasferimento tecnologico

Obiettivi. Supporto tecnico e attività di consulenza alle imprese nei campi di interesse del programma

Attività e risultati ottenuti. Nel corso del 2019 si è attivato, svolto e concluso il contratto industriale "Calcolo delle tensioni indotte per diverse situazioni espositive al campo magnetico nei lavori sotto tensione", commissionato all'INRiM da CESI S.p.A Milano, su finanziamento TERNA S.p.A.

Didattica universitaria e formazione

Obiettivi. Attività di tutoraggio per tesi e stage in ambito universitario

Attività svolta e Risultati ottenuti. Tutoraggio di 3 dottorati in Metrologia riguardanti: i) i sistemi per misure riferibili di energia e qualità della potenza in ambiente ferroviario, ii) i sistemi di riferimento per la verifica a larga banda di trasformatori di misura, iii) lo sviluppo di cristalli bi-dimensionali per applicazioni di *energy-harvesting* (in collaborazione con l'IIT, concluso nel 2019).

Divulgazione scientifica e organizzazione di eventi

Attività svolta. Organizzazione di due eventi: i) in collaborazione con il PTB, Workshop "WCV 2019 wireless charging of vehicles - Measurements, modeling, and human exposure" sulle attività di trasferimento tecnologico del progetto MICEV; ii) Workshop EMRAILS 2019 *Electrical Measurements for Energy Management in Railway systems*, in collaborazione con l'Università della Campania e il CIFI.

Risultati ottenuti. Il corso WCV 2019 ha visto 40 partecipanti (17 tramite webinar, di cui 20 provenienti dal consorzio MICEV e 20 esterni, provenienti per il 37% dall'accademia, il 21% da aziende, il 26% da NMI, e il 16% dall'Università. Al Workshop EMRAILS2019, incontro tra il mondo ferroviario e le sue esigenze di riferibilità per le misure elettriche e il consorzio *MyRails*, sono intervenuti 60 partecipanti, provenienti per più del 50% dal mondo dell'industria ferroviaria e dei gestori di infrastrutture.

Settore ML3 - Acustica e Ultrasuoni
Responsabile: Giovanni Durando

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Antonio Agostino		0,80	0,20		1
Mario Corallo		0,50	0,20	0,30	1
Giovanni Durando	0,30	0,30	0,20	0,20	1
Ezio Dragone (fino al 31/03)		0,25			0,25
Claudio Guglielmono	0,40	0,40	0,20		1
Personale in formazione					
Ricardo Morales	0,20				0,20
Totale	0,90	2,25	0,80	0,50	4,45

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Tema di ricerca <i>Obiettivi.</i> - Acustica in Aria Le attività sono state indirizzate al mantenimento dei servizi di taratura e certificazione. L'attività principale riguarda l'adeguamento dei sistemi di misura (programmi software di gestione delle catene di taratura) presenti nel laboratorio campioni di pressione acustica per quanto riguarda i servizi legati alle attività</p> <p>- Ultrasuoni Le attività in ambito Ultrasuoni ha riguardato principalmente la gestione e il coordinamento coordinamento del progetto EURAMET EMPIR 18HLT06 RaCHy–Radiotherapy coupled with Hyperthermia-</p> <p><i>Attività svolta.</i> Acustica in Aria E' stato fornito il servizio riguardante l'offerta, l'organizzazione e la valutazione tecnico-scientifica di confronti di misura interlaboratori (ILC) in ambito acustico, a supporto dei laboratori industriali accreditati o in fase di accreditamento. Il settore ha collaborato stabilmente con ACCREDIA - l'Ente italiano di accreditamento - mettendo a disposizione i propri esperti tecnici per l'attività di esame e/o valutazione di procedure e documentazione tecnica, l'esecuzione di visite ispettive presso i laboratori accreditati di taratura e prova.</p> <p>Ultrasuoni Sonodinamica: Si sono consolidate le collaborazioni con gruppi di ricerca che operano presso i dipartimenti di <i>Biotecnologie Molecolari & Scienze per la Salute, Scienza & Tecnologia del Farmaco</i> dell'Università di Torino, che hanno come tema principale l'utilizzo di campi ultrasonori per il rilascio controllato di farmaci. In tale ambito, oltre alla prosecuzione dell'attività rivolta alla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttori ad onda piana e HIFU è in fase di progettazione un sistema che consenta la visualizzazione, mediante microscopio, della coltura cellulare durante l'insonazione. Dosimetria ultrasonora: Nel corso dell'anno stato formalizzato l'accordo di collaborazione scientifica tra la fondazione IRCCS Istituto Neurologico "Carlo Besta" di milano e l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) per lo sviluppo di linee di ricerca pre-clinica, clinica e tecnica nell'ambito della terapia con ultrasuoni. Sviluppo di proposta di progetto (nell'ambito della call EMPIR RESEARCH POTENTIAL 2019), coordinata da TUBITAK-UME: JRP-r01 Development of expanded metrological capability for medical ultrasound (Esclusa dal finanziamento).</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Realizzazione e caratterizzazione di un sistema d'insonazione basato su High Intensity Focused Ultrasound, HIFU (sfruttando le proprietà del Far Field) per le attività di sperimentazione <i>in vitro</i> e <i>in</i>

vivo, da realizzarsi presso Ospedale san Raffaele di Milano) previste all'interno del progetto 18HLT06 - RaCHy.

- Progettazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione operanti nel range di frequenza 1 MHz – 3 MHz basati su trasduttori ad onda piana. Tali sistemi verranno utilizzati nella sperimentazione *in vitro* ed *in vivo*, a partire da Febbraio 2020, presso l'IRCCS Carlo Besta di Milano

Ruolo NMI

Attività

Attività svolta.

L'attività ha principalmente riguardato:

- disseminazione delle unità di competenza tramite attività di taratura;

Acustica in Aria e Ultrasuoni

Il personale afferente al settore collabora stabilmente con gli enti di normazione nazionali, CEI, presiedendo il comitato CEI CT29/87 "Acustica e Ultrasuoni", enti di normazione internazionali, IEC TC 29 "Elettroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics".

Sovrintende i lavori del sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e partecipa ai lavori del sottocomitato "Sound in Air".

Il personale, su delega del presidente, ha coordinato la partecipazione alla riunione del comitato consultivo CCAUV.

Risultati ottenuti.

Acustica in Aria

Attività di ispezione per ACCREDIA a cui si sommano attività di training in Capacity Building in ambito Acustico (Taratura fonometri e calibratori multifrequenza).

Ultrasuoni

Attività di peer review presso INMETRO-Brasile.

Terza missione

Attività

Attività svolta.

Le attività consolidate nel corso dell'anno sono state:

- Attività di peer review presso altri Istituti Metrologici;
- Supporto all'Ente Italiano di Accreditamento (ACCREDIA) con attività tecniche di ispezione;
- Organizzazione di confronti iter-laboratorio (ILC);
- Supporto all'industria del settore;
- Supporto a Istituti di Metrologia in Capacity Building in ambito Acustico e Ultrasonoro;
- Supporto alla stesura di normativa in ambito nazionale ed internazionale.
- Organizzazione di confronti inter-laboratorio nell'ambito delle grandezze acustiche

Risultati ottenuti.

- Training di personale dell'ente metrologico Georgiano nell'ambito del Twinning Contract – Support to Georgian National Agency for Standards and Metrology for further implementation of the EU- Georgia DCFTA requirements. Ref: GE/13/ENP/EC/02/16 (GE/25)
- Partecipazione alla redazione dei documenti necessari al deposito di brevetto nazionale, Titolo: Agente sonosensibilizzante e suo metodo di attivazione, Data primo deposito: 31/10/2018, Numero primo deposito: 102018000009966

Settore ML4 – Scienze e tecnologie biomediche
Responsabile: Alessandra Manzin

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione</i>	<i>Gestione & coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale TI					
Oriano Bottauscio ⁽¹⁾	0,60	0,05	0,05		0,70
Giancarlo D'Agostino	0,65	0,30	0,05		1
Giampaolo D'Errico	0,60				0,60
Carla Divieto	0,50	0,30	0,20		1
Andrea Lapini	0,95		0,05		1
Alessandra Manzin	0,75	0,05	0,10	0,10	1
Leonardo Mortati	0,95		0,05		1
Mattia Pegoraro	0,30				0,30
Laura Revel	0,50	0,50			1
Adriano Troia	0,90		0,10		1
Luca Zilberti ⁽¹⁾	0,55	0,05	0,10		0,70
Massimo Zucco ⁽²⁾	0,60	0,20	0,10		0,90
Assegni ricerca					
Alessandro Arduino ⁽¹⁾	0,70				0,70
Marco Di Luzio	0,70	0,30			1
Riccardo Ferrero	1				1
Umberto Zanovello ⁽¹⁾	0,70				0,70
<i>Totale</i>	<i>10,95</i>	<i>1,75</i>	<i>0,80</i>	<i>0,10</i>	<i>13,60</i>
Personale in formazione					
Simone Galati (PhD)	0,15				0,15
Camilla Paoletti (PhD)	0,50				0,50
Marta Vicentini (PhD)	1				1
Cristina Ruffino (Tirocinante)	0,15				0,15
Andrea Giura (Tirocinante)	0,25				0,25
Personale associato					
Michele Borsero	0,20				0,20
Mario Chiampi	0,70				0,70
Paolo Foggi	0,20				0,20
Massimo Oddone	0,20				0,20
Renato Torre	0,20				0,20
Totale	14,50	1,75	0,80	0,10	17,15

⁽¹⁾ collaborazione con ML2 (TPE 0,30);

⁽²⁾ collaborazione con AE2 (TPE 0,10).

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo

Applicazioni terapeutiche di campi elettromagnetici, ultrasuoni e nanomateriali

Obiettivi. Studio di nanomateriali e sorgenti di campo per applicazioni terapeutiche nell'ipertermia magnetica ed elettromagnetica, nel trasporto e rilascio controllato di farmaci e nella medicina rigenerativa.

Attività svolta. Ipertermia magnetica ed elettromagnetica: Nell'ambito del progetto EMPIR RACHY (avviatosi nel 2019) si è iniziato lo studio modellistico di applicatori per ipertermia alle radiofrequenze, finalizzato al calcolo della potenza depositata in modelli animali *in silico*. Si è proseguita l'analisi modellistica di nanomateriali in NiFe e FePd per ipertermia magnetica, valutando l'influenza di forma, dimensioni e concentrazione sul calore specifico prodotto. Si è sviluppato un codice di calcolo per la simulazione del trasporto guidato di nanoparticelle magnetiche in vasi sanguigni e del loro rilascio nei tessuti. Si è avviato, con IMDEA Nanociencia, lo studio modellistico del riscaldamento di protesi metalliche in pazienti sottoposti a ipertermia magnetica, considerando scenari di trattamento realistici per alcuni tipi di tumore.

Drug delivery e ultrasuoni: Nel corso del progetto CRT sullo studio dell'effetto antimicrobico di nanogocce ossigenate si è proseguita la preparazione di nanogocce in PFC caricate con ossigeno e farmaci e si è intrapresa la realizzazione di set-up per monitorare le dinamiche di rilascio del farmaco mediante tecniche di *high-speed imaging* ed *imaging* ultrasonoro. Si è inoltre avviato lo studio degli effetti indotti dagli ultrasuoni in colture cellulari in presenza di funghi e batteri. Infine, con il DISAT (POLITO), sono proseguiti gli studi degli effetti biologici degli ultrasuoni (e.g. generazione di radicali) con tecniche di indagine ecografica.

Medicina rigenerativa: Nel progetto ERC-BIORECAR, coordinato dal DIMEAS (POLITO), sono stati caratterizzati i processi di riprogrammazione di fibroblasti in cardiomiociti mediante tecnica *droplet digital PCR* (ddPCR), metodi metabolici e tecniche di microscopia. Si è inoltre proseguito lo studio dei meccanismi di differenziamento di cellule staminali su membrane nano/microstrutturate in poliuretano e delle proprietà meccaniche e morfologiche di scaffold in idrogel di fibrina.

Risultati ottenuti. Ottimizzazione di un'antenna RF per ipertermia elettromagnetica focalizzata e di nanomateriali in NiFe per ipertermia magnetica; valutazione *in silico* del riscaldamento indotto in presenza di protesi metalliche e sorgenti di campo per ipertermia magnetica; determinazione dei parametri che influenzano il rilascio di nanoparticelle magnetiche nei tessuti. Realizzazione di un set-up per insonazione di colture cellulari. Evidenze sperimentali di differenziamento cellulare su materiali multifunzionali in poliuretano e idrogel, e di riprogrammazione di fibroblasti cardiaci in cardiomiociti.

Misura di biomarcatori e diagnostica *in vitro* (IVD)

Obiettivi. Caratterizzazione di biomarcatori molecolari (biopsie liquide) e di indicatori di stati patologici tramite ddPCR e metodi di analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA); studio di sensori di campo magnetico nano/microstrutturati per potenziali applicazioni nell'IVD.

Attività svolta. Biopsie liquide: Nel progetto EMPIR NeuroMet (conclusosi nel 2019) si è ottimizzata la tecnica ddPCR e si è caratterizzata l'incertezza di misura nella valutazione dei miRNA come biomarcatori molecolari per la diagnosi precoce dell'Alzheimer. INAA: Si sono ottimizzate le procedure di misura del Co in campioni di capelli di pazienti con protesi metalliche in monitoraggio presso l'IOR di Bologna, per eliminare possibili sorgenti di errore (sviluppo di un sistema automatico per il lavaggio dei capelli e di un metodo di misura della relativa umidità). Sensori magnetici: Nel progetto EMPIR NanoMag (conclusosi nel 2019), in collaborazione con NPL, PTB, IFW Dresden e CEA Saclay, sono stati modellizzati e calibrati sonde MFM, dispositivi basati su microspire metalliche e nano/microsensori Hall in grafene e oro.

Risultati ottenuti. Caratterizzazione di un set di miRNA, la cui quantificazione non ha portato ad una netta discriminazione tra soggetti sani ed affetti da Alzheimer. Validazione del metodo INAA tramite la misura di Co nel materiale di riferimento "Human Hair". Confronto di metodi di calibrazione per microscopia MFM.

Imaging diagnostico basato su MRI

Obiettivi. Implementazione e caratterizzazione, *in silico* ed *in phantom*, di algoritmi per *Electrical Properties Tomography* (EPT) ed analisi dosimetrica degli effetti legati all'esposizione a tomografi MRI.

Attività svolta. Imaging MRI: Si è avviato il progetto EMPIR QUIERO, che ha come obiettivi lo sviluppo e la caratterizzazione di tecniche di *imaging* MRI quantitativo. In tale ambito si è studiata, mediante metodi Monte Carlo, la propagazione del rumore nei problemi inversi impiegati nella tecnica EPT di tipo "phaseless contrast source inversion" (EPT-CSI phaseless). Sono stati realizzati e caratterizzati *phantom* per MRI, investigando i parametri che influenzano i tempi di rilassamento, le proprietà elettriche e la stabilità; è inoltre proseguito lo studio di fattibilità di *phantom* antropomorfi mediante tecniche di stampa 3D.

Dosimetria MRI: Nel progetto EMPIR MIMAS, sono state studiate le interazioni tra campi di gradiente e impianti metallici per applicazioni ortopediche. A tal scopo, sono stati implementati algoritmi di calcolo per la trattazione dei segnali di gradiente (sequenze MRI) nelle simulazioni *in silico*; tali modelli sono stati validati mediante confronto sperimentale (dati ricavati con il tomografo MRI del PTB). Si è infine installato e caratterizzato un set-up per la verifica del riscaldamento di impianti metallici sottoposti a campi di gradiente.

Risultati ottenuti. Caratterizzazione metrologica degli algoritmi EPT-CSI phaseless e messa a punto di metodiche di preparazione di *phantom* eterogenei per simulare diversi tipi di tessuti. Realizzazione di un

database sui risultati delle simulazioni delle interazioni tra campi di gradiente e protesi metalliche e caratterizzazione del sistema di bobine di gradiente, in termini di distribuzione spaziale del campo generato.

Tecniche innovative di microscopia

Obiettivi. Realizzazione ed ottimizzazione di tecniche di *imaging* basate su tomografia ottica computerizzata (OCT), microscopia ottica multimodale CARS-SHG-TPEF e microscopia a forza atomica (AFM), e loro applicazione nella caratterizzazione di tessuti e materiali.

Attività svolta. OCT: Si è realizzato e testato un dispositivo OCT basato su interferometria a bassa coerenza a 1.5 μm , che consente di ottenere immagine tomografiche con incertezze dimensionali dell'ordine di 5-10 μm e profondità di penetrazione fino a 3 mm.

Microscopia CARS-SHG-TPEF: Si è ripristinato il microscopio multimodale per effettuare esperimenti in *time-lapse* su sistemi cellulari vivi, e si è integrata la tecnica spettroscopica *sum-frequency generation* per studiare materiali non-centrosimmetrici. È in corso lo sviluppo della tecnica *stimulated Raman scattering*.

Microscopia AFM: Sono stati realizzati metodi di misura per la caratterizzazione del modulo elastico e dei processi di adesione di organismi modello, quali il protozoo ameboide *Dictyostelium discoideum*. Si è effettuata la caratterizzazione della ruvidità superficiale di superfici con *coating* biologici.

Risultati ottenuti. Immagini tomografiche di campioni di Si e reticoli dimensionali per la caratterizzazione della tecnica OCT. Studio dell'internalizzazione cellulare di nanoparticelle e *imaging* 3D di tessuti cartilaginei tramite microscopia multimodale in *time-lapse*. Misure AFM su amebe in fase di creazione dello stelo.

Ruolo NMI

Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio e sviluppo di CMC

Attività svolta. Studi pilota: Partecipazione al confronto CCQM-P197 "*Proliferative stem cell number per unit area*", finalizzato alla valutazione delle capacità di misura di cellule proliferanti mediante microscopia a fluorescenza; stesura del report finale del confronto CCQM-P123 "*Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate*". CMC: Avvio della messa in qualità, secondo normativa ISO 17025, delle procedure tecniche per l'analisi di campioni per misure di densità cellulare su superfici piane.

Risultati ottenuti. Misure dimensionali di griglie per microscopia propedeutiche allo sviluppo del protocollo di misura per lo studio pilota CCQM-P197 e pubblicazione dei risultati del confronto CCQM-165 "*Quantification of CD34+ cell counts*" su rivista scientifica internazionale.

Sviluppo di campioni nazionali

Attività svolta. Al fine di ottimizzare il metodo k_0 -INAA per la misura di elementi principali e in tracce, si è effettuata la caratterizzazione dello spettro neutronico e si è automatizzata l'elaborazione dei dati.

Risultati ottenuti. Misure di gradiente di flusso neutronico nei canali di irraggiamento del reattore Triga Mark II (UNIPV) e rilascio della prima versione del software k_0 -INRiM per l'elaborazione dei dati di misura di frazioni di massa di elementi chimici con il metodo di standardizzazione k_0 .

Attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi.

Attività svolta & Risultati ottenuti. Stesura di norme: Revisione della bozza della norma ASTM WK55364 "*New Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method*". Attività nell'ambito dell'IRWG del CCQM: Sviluppo di un metodo di misura assoluto della costante di decadimento dell'isotopo ^{122}Sb con incertezza relativa 0.01% e di un metodo di misura relativo per la misura del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ con incertezza relativa 0.1%. Networking tra NMI: contributo al censimento degli stakeholder delle reti EMN TraceLabMed e MATHMET.

Terza missione

Trasferimento tecnologico

Attività svolta & Risultati ottenuti. Avvio di un contratto di ricerca con la ditta Three-ES per la misura del rumore di cavitazione idrodinamica generata da reattori per applicazioni ambientali e farmaceutiche.

Didattica universitaria & formazione

Attività svolta & Risultati ottenuti. Corso III livello "*Electromagnetic dosimetry in MRI: computational and experimental methods*" (POLITO); lezione "*Electromagnetic dosimetry in MRI*" nel corso di specializzazione per Fisici Medici (UNITO); lezioni ed esercitazioni nel corso II livello "*Radiochimica*" (UNIPV); lezioni ed esercitazioni nel corso "*La valutazione dell'incertezza per la conferma metrologica delle apparecchiature di misurazione*" (UNIPV); lezioni ed esercitazioni nel corso I livello "*Statistica sperimentale e misure meccaniche*" (POLITO). Tutoraggio di 5 dottorandi (POLITO), dei quali 2 hanno conseguito il titolo di PhD, 2 studenti II livello (POLITO), 2 tirocinanti extracurricolari, 7 tirocinanti I livello (POLITO).

Divulgazione scientifica

Attività svolta & Risultati ottenuti. Organizzazione del Workshop "*Advanced analytical technologies for life sciences*" nell'ambito del meeting semestrale del CCQM ospitato da INRiM. Svolgimento di seminari su Galileo Ferraris (*Giornata Mondiale della Metrologia e Notte dei Ricercatori*), di un seminario biografico su James Clerk Maxwell e di una lezione sul nuovo SI (riunione annuale dei Ricercatori di Elettrotecnica).

Settore ML5 - Magnetismo, materiali e spintronica
Responsabile: Gianfranco Durin

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione</i>	<i>Gestione & coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale TI					
Patrizio Ansalone	1				1
Carlo Appino	0,80	0,10	0,10		1
Vittorio Basso	0,60	0,30		0,10	1
Cinzia Beatrice	0,80	0,20			1
Federica Celegato	0,90	0,10			1
Marco Coisson	0,80	0,10		0,10	1
Gianfranco Durin	0,70		0,10	0,20	1
Enzo Ferrara ⁽¹⁾	0,80		0,10	0,10	1
Michaela Kuepferling	0,80		0,20		1
Alessandro Magni	1				1
Luca Martino	0,90		0,10		1
Elena Olivetti	0,70	0,10	0,20		1
Massimo Pasquale	0,80	0,20			1
Luciano Rocchino	0,30	0,70			1
Paola Tiberto	0,50	0,10		0,20	0,80
Luca Toso		0,80	0,20		1
Assegni ricerca					
Gabriele Barrera	0,90	0,10			1
Alessandro Sola	0,90		0,10		1
Arianna Casiraghi	0,40				0,40
<i>Totale</i>	<i>12,60</i>	<i>3,80</i>	<i>1,10</i>	<i>0,70</i>	<i>18,20</i>
Personale in formazione					
Daniele Gastaldo	1				1
Gabriel Soares	1				1
Personale associato					
Fausto Fiorillo	0,50				0,50
Paolo Allia	0,50				0,50
Franco Vinai	0,30				0,30
Totale	15,90	3,80	1,10	0,70	21,50

⁽¹⁾ svolge attività anche come Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS).

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo

Magnetismo, Materiali e Spintronica

Obiettivi.

L'attività di ricerca e sviluppo del gruppo di magnetismo si è sviluppata intorno ai seguenti obiettivi prioritari: i) Preparazione di materiali magnetici su varie scale spaziali dal bulk fino alla dimensione nanometrica; ii) Progettazione, geometrizzazione e sviluppo di dispositivi magnetici innovativi, su scale micro e nanometriche; iii) Miglioramento delle capacità di misura di campi magnetici e della caratterizzazione di materiali magnetici in un ampio spettro di condizioni, sia nanometrici che bulk; iv) Sviluppo delle opportune analisi teoriche e dei modelli numerici applicati al magnetismo su diverse scale spaziali; v) Estensione delle capacità di misura a nuove aree collegate a energia, salute, ambiente e beni culturali

In particolare gli obiettivi per il 2019 che sono stati raggiunti sono:

- Preparazione di una review sulla misura della interazione Dzyaloshinskii-Moriya (DMI) che verrà pubblicata su Rev. Mod. Phys. nel 2020
- Completamento dello sviluppo e della caratterizzazione di un apparato sperimentale basato su microscopia a forza atomica per la misura della magnetostrizione di film sottili
- Studio delle proprietà di ipertermia magnetica in nanoparticelle e nanostrutture magnetiche ottenute mediante tecniche fisiche innovative
- Verifica sperimentale della reciprocità spin-Seebeck spin-Peltier

Attività svolta.

Trasporto di spin e della dinamica di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche e nei materiali per l'energia

Sono state sviluppate le seguenti tematiche: a) dinamica di magnetizzazione controllata da effetti di spin-torque e spin-orbita in diverse configurazioni (pareti di Bloch e Néel, vortici, skyrmion, spin waves); b) termodinamica di non-equilibrio per il trasporto di momento magnetico e calore nei solidi e nelle interfacce (spin caloritronica, effetto spin Seebeck); c) teorie e modelli per il processo di magnetizzazione scalare e vettoriale e per le trasformazioni di fase dei materiali funzionali per l'energia; d) simulazioni micromagnetiche per la realizzazione di sistemi computazionali neuromorfici.

Metodi di misura magnetica e sensori

Sono state sviluppate tecniche di: a) misura della dinamica di magnetizzazione uniforme o non uniforme (spin-wave, vortici, skyrmions, etc.) tramite microonde, magneto-ottica, MFM; b) misura della costante di interazione Dzyaloshinskii-Moriya; c) misura per l'ipertermia da nanostrutture magnetiche; d) misura della costante di magnetostrizione in film sottili tramite microscopia a scansione di sonda (AFM); f) misura statica e dinamica per i materiali magnetici per l'energia (in regime mono e bi-dimensionale), per l'ambiente, l'archeologia e i beni culturali.

Imaging magnetico

Sono state sviluppate tecniche di microscopia ad alta risoluzione con l'utilizzo di film indicatori magnetici ed MFM per la misura quantitativa riferibile di campi magnetici. Sono stati effettuati confronti con i risultati ottenuti mediante tecniche complementari (MFM calibrato, magneto-ottica con film indicatori).

Nell'ambito del progetto Nanomag è stato allestito un setup microscopico che con l'utilizzo di film indicatori ha permesso la misura quantitativa degli stray fields generati da campioni di riferimento.

Preparazione di materiali per la spintronica, il nanomagnetismo e materiali innovativi

Sono state preparate nanostrutture da film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves e per la magneto-meccanica. Si realizzerà la sintesi e la funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche anche core-shell in vista di possibili impieghi nel campo biomedico (agenti di contrasto per diagnostica tramite risonanza magnetica, per ipertermia magnetica o per somministrazione guidata di farmaci). Sono state preparate leghe magnetiche in forma massiva, con differenti proprietà funzionali (dure, magnetostrittive) tramite tecniche di solidificazione rapida (suction casting) e metallurgia delle polveri. Si è messa a punto per la prima volta una tecnica di idrogenazione sonochimica di leghe metalliche per applicazioni magnetocaloriche e per storage di idrogeno (collaborazione con ML4). E' stata avviata una collaborazione scientifica col Dip. di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino sulla produzione di microfibre metalliche amorphe per applicazioni biomediche.

Risultati ottenuti.

Sola, A., Basso, V., Kuepferling, M. et al. Experimental proof of the reciprocal relation between spin Peltier and spin Seebeck effects in a bulk YIG/Pt bilayer. *Sci Rep* 9, 2047 (2019); A. Casiraghi, H. Corte-León, M. Vafaei, F. Garcia-Sanchez, G. Durin, M. Pasquale, G. Jakob, M. Kläui, O. Kazakova: Individual skyrmion manipulation by local magnetic field gradients. *Comm. Phys.* 2, 145 (2019); A. Troia, E.S. Olivetti, L. Martino V. Basso, Sonochemical hydrogenation of metallic microparticles, *Ultrasonics Sonochemistry*, 55, 1 (2019); M. Coïsson, G. Barrera, C. Appino, F. Celegato, L. Martino, A. P. Safronov, G. V. Kurlyandskaya, P. Tiberto:

Specific loss power measurements by calorimetric and thermal methods on gamma-Fe₂O₃ nanoparticles for magnetic hyperthermia, J. Magn. Magn. Mater. 473 (2019) 403-409; M. Coïsson, G. Barrera, F. Celegato, P. Tiberto: Rotatable magnetic anisotropy in Fe₇₈Si₉B₁₃ thin films displaying stripe domains. Appl. Surf. Sci. 476 (2019) 402-411

Ruolo NMI

Metrologia delle proprietà elettromagnetiche dei materiali

Attività svolta.

Miglioramento e consolidamento delle CMC in ambito magnetico, in particolare nella metrologia del campo magnetico (< 20 mT) e nelle perdite di energia nei materiali magnetici in regimi non convenzionali. Metrologia delle proprietà elettromagnetiche dei materiali. Consolidamento del ruolo primario a livello internazionale nelle misure magnetiche sui materiali e nella riferibilità delle unità magnetiche. Anticipare i bisogni metrologici nei campi delle spintronica e nanomagnetismo in rapida evoluzione

Per l'anno 2019:

- Conclusione del progetto EMPIR JRP "Nanomag" con produzione del rapporto finale
- Approvazione della proposta EMPIR JRP "Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion" con inizio Maggio 2020
- Partecipazione al progetto EMPIR MagNaStand per la definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle
- Richiesta di un contratto industriale con ITT per caratterizzazione di perdite magnetiche in backplate di pinze freno e relativi effetti termici
- Completamento della peer review del laboratorio di Misure Magnetiche (11-12 dicembre 2019)

Risultati ottenuti

Peer review del laboratorio di Misure Magnetiche completata con successo

Terza missione

Divulgazione scientifica

Attività svolta.

Addestramento di giovani ricercatori, insegnamento diretto alle scuole e divulgazione al grande pubblico. Rafforzare le collaborazioni con gruppi leader in questo ambito tramite le partecipazioni al consorzio "Spintronic Factory".

Per l'anno 2019:

- Accoglienza di gruppi scolastici per attività didattiche e visite ai laboratori
- Partecipazione ai progetti "Mirafiori la scuola con una marcia in più" e "Batti il 5" per la divulgazione delle scienze nelle scuole primaria e secondaria di primo grado
- Partecipazione ai gruppi di lavoro "Education & Outreach" e "AIMag Colloquia" dell'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione
- Corso di terzo livello "Magnetism, magnetic materials and measurements" (Politecnico di Torino)
- Corso di terzo livello "Python in the lab" (Politecnico di Torino - 2 edizioni)
- Corso "Fisica dello stato solido e laboratorio: laboratorio (materiali magnetici)", FIS/03 (16 h; 2 CFU), nell'ambito del Corso di LT "Scienza dei materiali-chimica, presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale (UPO), a.a. 2019/2020.
- Partecipazione al Centro Interdipartimentale per la Cristallografia Diffrattometrica (CRISDI) dell'Università di Torino
- Tirocini e tesi di laurea triennale e magistrale e Tesi di dottorato
- Accoglienza di studenti in progetti di alternanza scuola-lavoro previsti dalla Legge 107/2015.
- Partecipazione alla Notte europea dei ricercatori Settembre 2019
- Trasferimento tecnologico all'industria tramite consulenze e contratti.

Risultati ottenuti.

Tesi Magistrale Scienza dei materiali per i Beni Culturali - Elisa Ostorero "Studio delle proprietà magnetiche, strutturali e di colore di pigmenti rossi a base ferro" (relatore E. Ferrara)

Divisione Metrologia applicata e ingegneria

Responsabile: Michela Segà

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2019

Ricercatori e Tecnologi: 33. Tecnici: 26

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 15. Associati e incarichi: 3

Articolazione delle attività

La Divisione sviluppa la scienza metrologica e le tecnologie con attenzione all'ingegneria e alle necessità industriali. Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, e secondo l'attribuzione a INRiM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991), la Divisione cura la ricerca metrologica per le grandezze di pertinenza, la realizzazione pratica e la disseminazione delle unità di misura delle grandezze meccaniche e termodinamiche e la disseminazione per le grandezze elettriche, anche in risposta alle nuove opportunità offerte dalla ridefinizione delle unità del SI. Svolge inoltre attività di ricerca inerenti il monitoraggio ambientale e il clima, l'impiego razionale dell'energia, lo sviluppo di tecniche metrologiche per il mondo della digitalizzazione. Per rispondere a queste esigenze, la Divisione è strutturata in cinque settori scientifici omogenei e tematici.

SETTORI	
AE1: Metrologia della massa e grandezze apparentate (Alessandro Germak)	L'attività è rivolta a mantenere i campioni e disseminare le unità delle grandezze di competenza (masse, volumi, densità, portate di liquidi, portate e volumi di gas, pressioni e vuoto, forze, durezza, gravità), a condurre attività di ricerca per lo sviluppo di nuovi sistemi e metodi di misura e taratura e per l'estensione delle capacità di misura e taratura, anche legati alle possibilità offerte dal nuovo SI.
AE2: Metrologia della lunghezza (Marco Pisani)	L'attività è indirizzata al mantenimento e alla disseminazione dei campioni delle grandezze dimensionali, alla conduzione di ricerche per migliorare le conoscenze, sviluppare dispositivi e tecniche nei campi della nanometrologia, delle misure industriali, della ricerca spaziale. Le attività connesse all'interferometria X/ottica (COXI), sono volte alla creazione di un nodo europeo presso INRiM a supporto degli NMI.
AE3: Misure elettriche ed elettroniche (Pier Paolo Capra)	L'attività ha l'obiettivo di condurre ricerca e sviluppo nell'ambito della metrologia elettrica primaria, anche in riferimento al mantenimento dei campioni materiali e delle scale. Un ulteriore contributo importante, alle realtà produttive del territorio, deriva dai laboratori di alte tensioni e forti correnti (LATFC) che permettono l'esecuzione di prove di importanti parametri elettrici, tra i quali: misure di corto circuito, capacità di stabilimento ed interruzione o prove di tenuta di breve durata, prove di sovratemperatura, prove ad impulso atmosferico, misure di scariche parziali e prove a frequenza di rete.
AE4: Termodinamica fisica (Roberto Gavioso)	L'attività in questo settore è finalizzata a realizzare, mantenere e disseminare i campioni delle unità di misura delle grandezze termodinamiche, anche mediante lo sviluppo di metodi di misura avanzati finalizzati alla realizzazione di nuovi campioni primari nel settore della termometria (acustici, a microonde, ottici) e alla determinazione delle differenze fra la temperatura termodinamica e la scala internazionale di temperatura. Vengono inoltre sviluppati sensori di temperatura innovativi anche basati su tecnologie quantistiche, generatori e campioni di umidità in matrice gassosa o solida. Le attività di ricerca sono rivolte alla misura di proprietà termofisiche di fluidi e materiali di particolare interesse scientifico o tecnologico in contesti aventi finalità ambientali, incluso il risparmio energetico, o di applicazione tecnologica e industriale.

<p>AE5: Termodinamica applicata (Andrea Merlone)</p>	<p>L'attività è relativa alle applicazioni industriali e ambientali della termodinamica, nelle misure termiche, in processi radiativi e in chimica delle miscele gassose. Importanti tematiche di ricerca riguardano e si sviluppano per mezzo di misure in chimica dei gas e dell'acqua, misure termiche e termodinamiche in atmosfera, interazioni termodinamiche in criosfera, studio delle caratteristiche di sensori termici per aeronautica e meteorologia, metodi matematici a supporto della metrologia, applicazioni di metodi radiometrici e fotometrici allo studio di proprietà dei materiali.</p>
--	--

La Divisione complessivamente è attiva nell'ambito delle tre missioni dell'INRiM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede dei Settori. Ha partecipato nel corso del 2019 a 32 contratti di ricerca nazionali e internazionali, molti dei quali nell'ambito dell'European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), di cui tre coordinati dalla Divisione (16NRM02 SURFACE, 17NRM03 EUCoM e 18NRM03 INCIPIT). La Divisione è stata inoltre attiva nella proposizione di proposte di progetto in tutte le Call EMPIR 2019, ottenendo l'approvazione di un nuovo progetto a coordinamento INRiM nella Call Support for Impact (19SIP ENV58b CRB). Sono stati pubblicati 41 lavori su riviste internazionali (di cui 39 con Impact Factor).

Nel corso del 2019, la Divisione ha partecipato all'avvio delle attività di kick-off e alle conseguenti iniziative di due European Metrology Networks (EMN), reti approvate alla General Assembly di EURAMET del 2018:

EMN on Climate and Ocean Observation - ClimOcNet, coordinata da NPL, che si propone di costituire una rete collaborativa in grado di fornire competenza metrologica per i numerosi stakeholder che effettuano e utilizzano misure per le osservazioni in ambito climatologico e oceanico. La rete è suddivisa in tre sezioni tematiche: Atmosphere Observation, Ocean Observation, Land and Earth Observation, coordinate rispettivamente da METAS, LNE, NPL. Il progetto EMPIR 18NET04 ForClimateOcean, a supporto della EMN, vede come partner interni finanziati esclusivamente i coordinatori della EMN e delle tre sezioni (NPL, LNE, METAS). La Divisione è attiva in tutte le sezioni della rete e ad essa afferiscono le persone di contatto sia della rete nel suo complesso sia delle singole sezioni. Nel 2019 i lavori dell'EMN sono ufficialmente iniziati con il kick-off meeting, ospitato dall'NPL il 20-21 giugno. I membri della rete hanno condotto un lavoro di identificazione preliminare dei principali stakeholder, sia a livello globale per l'intera rete, sia all'interno di ciascuno dei tre pilastri tematici. Tra le iniziative di rilievo si segnala l'indagine online, iniziata a dicembre 2019, dedicata a tutti i membri delle comunità attive nei settori del clima e delle osservazioni oceaniche, volta all'identificazione delle necessità e delle priorità degli stakeholder.

EMN for Mathematics and Statistics, coordinata da PTB, a cui la Divisione partecipa in collaborazione con la Divisione ML. La rete si propone di costituire un punto di riferimento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni e convegni dedicati. La rete origina dal Centro Europeo per la Matematica e la Statistica in Metrologia (MATHMET) costituito nel 2014, di cui INRiM è membro. L'INRiM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN. Il 19 e 20 giugno 2019, presso il PTB, i kick off meeting della EMN MATHMET e del relativo JNP 18NET05. Il 22 novembre 2019 si è tenuta a Lisbona l'assemblea generale della rete, principalmente dedicata al processo di mapping degli stakeholder (la EMN for Climate and Ocean Observation è stata individuata tra quelli di prioritaria importanza), alla formulazione di un progetto di rete su Measurement uncertainty training ed alla proposta di temi di comune interesse da presentare alla call EMPIR 2020.

La Divisione è stata inoltre coinvolta nel 2019 nel processo di formulazione delle seguenti EMN in fase di costituzione: **EMN on Advanced Manufacturing** (anche come partner nella proposta di JNP ad essa associato e classificato tra i progetti cofinanziati), **EMN on Clean Energy**, **EMN on Positioning, Navigation, Timing and Geodesy**.

Ricerca e Sviluppo

Nel corso del 2019, è di particolare nota il risultato ottenuto mediante attività congiunte negli ambiti della **Massa e grandezze apparentate** e della **Metrologia della Lunghezza** che ha dimostrato le fattibilità della realizzazione della scala di massa riferibile alla costante di Planck nel campo dei milligrammi, attraverso la realizzazione di una bilancia elettrostatica costituita da un attuatore elettrostatico abbinato ad una bilancia a compensazione elettromagnetica di tipo commerciale. L'investigazione di un approccio a facce parallele

dimostra grandi potenzialità rispetto a quello a elettrodi cilindrici più comunemente usato e apre la strada alla possibilità di realizzare il kilogrammo secondo la definizione del nuovo SI alla scala delle piccole masse. La tecnica di misura e i risultati sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (IF 2.794).

Per quanto concerne le attività nella **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnala l'attività rivolta alla misurazione dell'energia termica negli edifici attraverso i contatori di energia termica che presenta numerosi problemi metrologici dovuti alle condizioni di installazione e di funzionamento, che spesso portano ad errori di misura inaccettabili. In diversi paesi dell'Unione Europea, a garanzia dei consumatori, è obbligatorio effettuare controlli periodici sia in laboratorio sia in campo per valutarne l'accuratezza. L'INRiM ha partecipato ad una sperimentazione volta ad analizzare i principali contributi di incertezza nell'utilizzo dei contatori master ad ultrasuoni di tipo clamp-on utilizzati per verifica sul campo dei contatori di energia termica. I risultati, oggetto di pubblicazione sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 2.791), hanno mostrato che occorre prestare particolare attenzione alla configurazione e all'installazione dei trasduttori, e che i requisiti imposti dalla metrologia legale sono spesso molto difficili da rispettare.

Si segnalano inoltre, sulle tematiche della **Metrologia della lunghezza**, i seguenti risultati di rilievo:

- lo studio effettuato sull'effetto della stray-light nel Sistema interferometrico dell'antenna gravitazionale LISA. Attraverso modelli e simulazioni si esamina l'effetto, si esaminano le possibili soluzioni per potere stabilire il limite massimo di stray-light in un sistema di rivelazione bilanciato. I risultati dello studio sono stati pubblicati nella rivista internazionale *Classical and quantum gravity* (IF 3.487).
- L'utilizzo dell'interferometria combinata ottica a raggi X (COXI) per lo sviluppo e lo studio di un modello analitico dell'interferometro ottico a singolo fascio in grado di misurare spostamenti e inclinazioni con risoluzioni del picometro e del nanoradiante. I risultati sperimentali e il modello analitico sono stati analizzati per verificare gli effetti di aberrazione dei fronti d'onda sulla fase differenziale, dando origine alla pubblicazione sulla rivista internazionale *Optics Express* (IF 3.866).

Nell'ambito delle **Misure elettriche ed elettroniche**, è di particolare rilevanza la prosecuzione di una fruttuosa collaborazione instaurata con l'Università di Messina per lo studio delle malattie neuro-degenerative mediante wearable sensor collegati a un sistema embedded anch'esso indossabile. L'elettronica indossata dal paziente è in grado di effettuare una elaborazione preliminare dello stato di salute del paziente e si collega a sistemi remoti per l'invio dei dati. Il lavoro è stato oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (IF 2.794).

Sulle tematiche della **Termodinamica fisica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel corso dell'anno sono i seguenti.

- L'esperienza acquisita dall'INRiM nello sviluppo di un metodo di termometria primaria denominato Refractive Index Gas Thermometry (RIGT), basato sulla misura dell'indice di rifrazione di gas monoatomici con risonatori a microonde ha permesso di contribuire alla redazione di un lavoro di rassegna che descrive i principi del metodo valutandone l'incertezza caratteristica ottenibile nella determinazione della temperatura termodinamica. Tale pubblicazione ha permesso l'inclusione della termometria RIGT nella lista dei metodi primari riconosciuti dall'aggiornamento (2019) della *mise en pratique* per la definizione del kelvin nel SI, con pubblicazione sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.447).
- Si è conclusa una serie di misure della pressione di vapor saturo di campioni di acqua ordinaria allo stato soprafuso nell'intervallo di temperatura tra 252 K e 273 K. I risultati di tali misure – i più accurati finora pubblicati – contribuiscono alla validazione dell'equazione di Clausius-Clapeyron applicata all'acqua allo stato liquido a temperature inferiori a 273.15 K contribuendo a colmare l'attuale lacuna di dati sperimentali in tale intervallo di temperatura. I risultati sono stati pubblicati nella rivista internazionale *The Journal of Chemical Thermodynamics* (IF 2.290).
- La determinazione della densità dell'acqua marina ha grande importanza in oceanografia, dato il suo ruolo chiave nell'organizzazione delle correnti oceaniche che distribuiscono ossigeno, calore, plankton e inquinanti. Misure estremamente accurate (0.003%) della densità di acqua marina di riferimento per salinità comprese fra 10 g kg⁻¹ e 38 g kg⁻¹ e temperature fra 278 K e 313 K sono state ottenute con un densimetro a tubo vibrante. I risultati di tali misure sono stati confrontati con l'equazione di stato di riferimento TEOS-10. I risultati sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *Deep-Sea Research Part I* (IF 2.848).

Sulle tematiche inerenti la **Termodinamica applicata**, si segnalano come risultati di maggior rilievo:

- La pubblicazione sulla rivista internazionale *International Journal of Climatology* (IF 3.6) dello studio sulla validazione metrologica dei record di temperatura atmosferica registrati tra il 2016 e 2017 in

Kuwait e Pakistan. Lo studio ha visto per la prima volta un istituto metrologico affrontare la valutazione delle incertezze di taratura e misura di sensori di temperatura atmosferica e ha posto un riferimento rispetto al quale verranno valutate dal WMO le future segnalazioni di record. Lo studio è stato citato dalla rivista Nature ed è stato rilanciato da diverse agenzie di stampa nazionali ed internazionali.

- La pubblicazione sulla rivista internazionale *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* (IF 2.786) relativa allo sviluppo di un programma MS-Excel user-friendly per la valutazione del rischio globale sia del consumatore sia del produttore nel conformity assessment della composizione chimica di materiali o oggetti multicomponenti quando siano sotto controllo fino a quattro componenti.
- I sistemi per finestrate con silica aerogel sono importanti per migliorare l'impatto energetico degli edifici, ma presentano costi elevati o impediscono la percezione dell'ambiente esterno. Lo studio delle prestazioni ottiche di un prototipo innovativo realizzato con il metodo del "rapid supercritical extraction" ha dato origine a una pubblicazione sulla rivista internazionale *Solar Energy* (IF 4.674). Le misurazioni hanno riguardato anche aspetti importanti per la definizione dell'ambiente interno illuminato quali l'indice di resa dei colori e la distorsione o riduzione della capacità di percepire l'ambiente esterno.

Ricerca istituzionale (ruolo NMI)

La Divisione mantiene 12 Campioni Nazionali e ne sviluppa e mantiene numerosi altri in tutti i settori scientifici di pertinenza. Nel 2019 sono risultati attivi 31 confronti internazionali di misura nei settori della massa e grandezze apparentate, vibrazioni, lunghezza, termometria, elettromagnetismo, chimica (analisi di gas). Sono stati emessi oltre 1000 certificati di taratura e prova, di cui un quarto rivolti a laboratori e gruppi di ricerca dell'INRiM, e circa 120 relazioni di ILC, distribuiti nelle aree AUV, EM, L, T, M.

La Divisione ha garantito nel 2019 la rappresentanza negli organismi metrologici europei e internazionali e nei rispettivi comitati tecnici e gruppi di lavoro (TC-AUV, TC-F, TC-L, TC-M, TC-MC, TC-T di EURAMET, CCL, CCAUV, CCM, CCQM, CCT del CIPM), mantenendo anche la Convenorship del SC Humidity del TC-T e la Chairmanship del WG Environment del CCT. Mantiene inoltre in ambito IMEKO il ruolo di delegato nazionale, la Chairpersonship dell'IMEKO TC 8 e la segreteria dell'IMEKO TC 12, la Chairpersonship di CITAC, la Co-Chairmanship dell'Expert Team "Uncertainties" del WMO, il ruolo di Chair-Rapporteur Reference and centennial stations per il WMO, la segreteria scientifica di Eurachem.

Per l'anno 2019 si segnalano i seguenti risultati di rilievo principale.

Per quanto riguarda la **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnala la pubblicazione su *Metrologia* (IF 3.447) del rapporto finale del Confronto Chiave Internazionale delle misure di forza CCM.F-K3, nel quale la forza di misura è stata confrontata su due valori di forza: 500 kN e 1 MN. A questo confronto, organizzato da PTB come laboratorio pilota, hanno partecipato in tutto 12 laboratori (9 sul livello di forza da 500 kN e 6 su 1 MN). L'INRiM ha partecipato su tutti i due livelli di forza, essendo uno dei soli cinque MNI al mondo a realizzare fino a 1 MN di forza con un campione a pesi diretti che garantisce la migliore incertezza.

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, è stato messo a punto e validato un metodo per la misura del diametro medio delle nanoparticelle quasi-sferiche attraverso l'uso del microscopio a forza atomica equipaggiato con scale interferometriche. Il campo di misura è da 5 a 500 nm. Il sistema diventerà un servizio di taratura utile soprattutto nel campo delle nanoscienze, delle nanotecnologie e della nanomanifattura.

Sul fronte delle **Misure elettriche ed elettroniche**, le attività relative allo studio e alla caratterizzazione di multimetri utilizzati nei cicli di confronto multilaterali per le grandezze elettriche in bassa frequenza e dc, hanno portato alla pubblicazione su due lavori sulle riviste internazionali *Metrology and measurement systems* (IF 1.598) e *MAPAN - Journal of Metrology Society of India* (IF 1.32).

Si segnala inoltre la realizzazione di un sistema di taratura di sensori utilizzati nei test di corto circuito nel rispetto dei requisiti della norma IEC 62475 basato su un multimetro di alta precisione utilizzato come digitalizzatore e algoritmi di calcolo appositamente sviluppati. I risultati sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement* (IF 2.794).

E' stato inoltre compiuto uno studio sui confronti di misura in relazione alla loro importanza e impatto sulle industrie ad alta tecnologia, che ha dato origine ad un articolo divulgativo sulla rivista internazionale *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine* (IF 1.9).

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, è di particolare rilievo la stesura della linea guida Accredia DT-09-DT "Linea guida per la taratura di termometri a immersione", nata dalla collaborazione tra INRiM e ACCREDIA. Tale documento ha come destinatari tutti i laboratori di taratura accreditati o in accreditamento nella grandezza temperatura, ma anche i laboratori accreditati in altre grandezze, o in prove o analisi che effettuano tarature interne di misuratori di temperatura. Inoltre tale linea guida è destinata ai valutatori ed agli

esperti tecnici del settore "Temperatura" di ACCREDIA, per i quali costituisce una base comune per l'armonizzazione delle valutazioni.

Per quanto concerne la **Termodinamica applicata**, si segnala il coordinamento del progetto EURAMET P1459, che conta la partecipazione di 24 NMI, con l'avvio di interlaboratory comparison e instrument intercomparison di termometri per misura della temperatura dell'aria.

Si segnala inoltre, a seguito della conclusione dei confronti chiave internazionali CCQM-K131 "Low-polarity analytes in a multicomponent organic solution: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in acetonitrile" e CCQM-K120 "Carbon dioxide at background and urban level", la pubblicazione dei risultati sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.447).

Campioni nazionali (DM 591/1993)

AE1	Grandezza massa, unità di misura kg, copia n. 62 del Kilogrammo Prototipo Internazionale (KPI) in platino iridio
AE1	Grandezza forza, unità di misura N, realizzazione macchine campione di forza da 1 N a 10 MN
AE1	Grandezza massa volumica, unità di misura kg/m ³ , realizzazione sfere di silicio cristallino
AE1	Grandezza pressione, unità di misura Pa, realizzazione impianto ad espansione dinamica e statica, bilance di pressione (liquido o gassoso).
AE1	Grandezza portata in massa di liquidi, unità di misura kg/s, realizzazione impianto campione
AE2	Grandezza metro, unità di misura m, campione di lunghezza d'onda (laser stabilizzati e pettine di frequenza)
AE2	Grandezza angolo piano, unità di misura rad, realizzazione impianto campione
AE3	Grandezza tensione elettrica, unità V, sorgenti di tensione continua allo stato solido
AE3	Grandezza resistenza elettrica, unità Ω, resistori campione nel campo 1 Ω 100 TΩ
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 24.6 K e 273.16 K mediante termometro a resistenza di platino a capsula (6 campioni)
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 83.8 K e 1235 K mediante punti fissi (9 campioni)
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 1235 K e 2500 K mediante termometro a radiazione monocromatico (2 campioni)

Altri campioni

AE1	Grandezza durezza, unità punti della scala, realizzazione durometri (scale: Rockwell, Vickers, Brinell)
AE1	Volume di solidi e liquidi, unità di misura m ³ , realizzazione campioni di volume
AE1	Densità di liquidi, unità di misura kg/m ³ , realizzazione campioni di densità
AE1	Accelerazione di gravità locale, unità di misura m/s ² , realizzazione: gravimetro assoluto trasportabile
AE1	Accelerazioni dinamiche, unità di misura m/s ² , realizzazione: tavole vibranti e banco di shock
AE1	Portata di gas, unità mol/s, g/s L/s, realizzazione impianti campioni
AE2	Campioni interferometrici per misure dimensionali di righe ottiche, anelli, tamponi, campioni a facce, diametrali, scalini e rugosità delle superfici
AE2	Campioni per la nanometrologia e la metrologia a coordinate
AE3	Trasferimento ac-dc: trasferitori termoelettrici ac-dc ad array e Transfer Standards nell'intervallo 2 mV ÷ 1000V, 10 Hz ÷ 1 MHz
AE3	Divisori di tensione continua 1 mV ÷ 1000V
AE3	Derivatori in dc e cc nell'intervallo 1 mA – 100 A e per forti correnti fino a 100 kA
AE3	Sorgenti di tensione continua allo stato solido tipo FLUKE 732 A e B da 1 V, 1.018 V e 10 V
AE3	Attenuatori ac e dc
AE3	Sensori di potenza ac in alta frequenza
AE3	Trasformatori amperometrici fino a 10 kA
AE3	Condensatori e partitori capacitivi per misure fino a 700 kV
AE4	Termometri a resistenza di platino campione, nel campo di temperatura da -190°C a 960°C
AE4	Termometri campione per tarature di termometri a resistenza, termocoppie, termometri a liquido e catene termometriche in bagni termostatici nel campo da -90 °C a 550 °C
AE4	Termometri e termocoppie campione per tarature di termocoppie in tubo termoconvettore a controllo di pressione nel campo da 450 °C a 900 °C

AE4	Termocoppie campione per tarature di termocoppie in forno comparatore nel campo da 850 °C a 1100 °C
AE4	Termocoppie campione per tarature di termocoppie in forno tubolare nel campo da 1064 °C a 1530 °C
AE4	Punti fissi dell'argento e del rame per la realizzazione della STI-90 al di sopra di 962 °C mediante termometro monocromatico a radiazione
AE04	Punti fissi di: indio, stagno, zinco, alluminio, argento e rame per l'approssimazione della STI-90 nel campo di temperatura da 156 °C a 1084 °C mediante tecniche di termometria a radiazione
AE4	Scala di umidità: temperatura di brina/rugiada da -95 °C a +95 °C
AE4	Scala di umidità relativa dal 5% al 95 % con temperatura dell'aria da -10 °C a 70 °C
AE4	Termometri campione per tarature di termometri a resistenza, termocoppie e catene termometriche in aria in ambiente termostatico nel campo da -70 °C a 180 °C
AE5	Miscele gravimetriche primarie di CO ₂ in aria e azoto

Trasferimento tecnologico (Knowledge Transfer)

La Divisione sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale mediante molteplici attività, come meglio delineato nelle schede di dettaglio. Nel 2019, oltre al consueto supporto ad ACCREDIA DT e DL, ha eseguito attività di peer review presso 6 NMI stranieri e fornito servizi di technical assessment per 5 enti di accreditamento stranieri. Ha partecipato all'attività di normazione nazionale e internazionale e a commissioni tecniche di settore.

Per quanto riguarda le attività della **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnalano in particolare:

- Stipula di un contratto con la ditta EASYDUR per lo sfruttamento commerciale di know-how avente per oggetto lo sviluppo congiunto di componentistica nel settore delle misure di forza multicomponenti, specificamente, per la realizzazione e lo sviluppo di un trasduttore di forza multicomponente a forma di esapodo.
- Stipula di un contratto con la ditta LTF per la concessione di una licenza di sfruttamento del know-how per la realizzazione di un durometro campione per le scale Rockwell, Brinell, Vickers e Martes. Con la stessa ditta è stata realizzata una collaborazione, scaturita poi in un contratto, per lo sviluppo di un innovativo strumento di misura per il settore della durometria per le microdurezze Vickers e Martens.

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, è di particolare rilievo l'organizzazione del convegno mostra "Le costanti della fisica come riferimento per pesi e misure: il lungo cammino verso le nuove definizioni" presso la Sala dei Mappamondi dell'Accademia delle Scienze per la presentazione del nuovo SI in occasione della giornata dell'entrata in vigore. Con la collaborazione dell'Accademia si è allestita una mostra di strumenti e documenti storici dagli archivi dell'INRiM e dell'Accademia che ha accompagnato l'evento.

Per quanto riguarda le **Misure elettriche ed elettroniche**, si segnalano i seguenti risultati di rilievo:

- La conclusione di un progetto industriale promosso dalla IRIS, realizzato in collaborazione con l'istituto IMAMOTER-CNR, per la caratterizzazione dei processi industriali di saldatura mediante l'analisi congiunta di tecniche spettrofotometriche e basate sull'acquisizione mediante camere iper-spetttrali.
- L'attività di formazione relativa ad un corso di 4 giorni sulle misure elettriche ed elettroniche, svolto presso il campus di Strada delle Cacce, a favore di Enel ENERGIA. Il corso ha coinvolto nove docenti, esperti in campi diversi della metrologia elettrica, del calcolo delle incertezze nelle misurazioni industriali e normative.
- L'apertura del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti in diverse occasioni, quali la celebrazione World Metrology Day, Open House e la Notte dei Ricercatori, registrando affluenze superiori al migliaio di visitatori.
- La collaborazione alla realizzazione di un video didattico-dimostrativo sulle prese industriali con l'azienda Palazzoli (<https://www.youtube.com/watch?v=sNnM3YScMI4&t=5s>).
- La stipula di un contratto di servizio tecnico-scientifico con un'azienda di consulenza, che svolge attività di supporto tecnico alle aziende per lo studio, la progettazione, l'industrializzazione e la commercializzazione di nuovi prodotti elettrici che si avvale della collaborazione del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti per l'attività di validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori, secondo la normativa di riferimento (IEC 61439-6).

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, si segnalano in particolare:

- L'organizzazione del workshop nazionale di formazione tecnica "Riferibilità delle misure di umidità e temperatura dell'aria", nell'ambito del progetto europeo EMPIR 15RPT03 - HUMEA (Expansion of European research capabilities in humidity measurement), per approfondire i concetti base e l'applicazione delle tecniche di misurazione dell'umidità e della temperatura dell'aria. Il workshop ha coinvolto il personale di laboratori metrologici accreditati e industriali, oltre a consulenti, operatori tecnici e personale di aziende operanti nel campo delle misure di umidità. Il workshop si è svolto il 24 marzo 2019 con 40 partecipanti, ed è stato ripetuto in seconda edizione il 6 novembre 2019 con 115 iscritti. In entrambe le edizioni, le iscrizioni sono state chiuse in anticipo rispetto alla scadenza, per aver raggiunto il limite di capienza massima delle aule. I feedback ricevuti sono stati molto positivi con numerose richieste di futura replica del corso.
- L'organizzazione della riunione annuale del Technical Committee for Thermometry TC-T di EURAMET, ospitata in INRiM dal 9 al 12 aprile 2019. L'appuntamento ha visto l'iscrizione di oltre 70 rappresentanti provenienti da tutta Europa. Il programma del meeting ha incluso la presentazione, aperta agli stakeholder nazionali, di due seminari: "Challenges in humidity measurements" e "The Mise en Pratique for the definition of the kelvin".
- Il deposito, in data 30 settembre 2019, della proposta di Brevetto Europeo n. 18720006.8, come estensione a livello europeo del corrispondente brevetto italiano dal titolo "Sonda per la misura di proprietà tribologiche".

Per quanto riguarda la **Termodinamica applicata**, tra i principali risultati di rilievo si annoverano:

- La promozione e l'organizzazione del IV Arctic Metrology Workshop, Oslo 7 Novembre 2019, in occasione della "Svalbard Conference".
- L'organizzazione e lo svolgimento della conferenza internazionale "3rd Metrology for Meteorology and Climate (MMC 2019)", 9-12 Giugno 2019, Chengdu - Cina. L'evento ideato e promosso dall'INRiM nell'ambito del progetto MeteoMet, si è ora indirizzato a una conferenza periodica di livello internazionale tenutasi anche in collaborazione con la World Meteorological Organization. L'edizione 2019 ha visto circa 80 partecipanti con 5 sessioni orali e 3 sessioni poster per un totale di 50 contributi scientifici; La prossima edizione è già programmata per il 2021 a Exeter, UK.
- La Segreteria Scientifica della International School of Physics "Enrico Fermi", Corso 206: "New frontiers for metrology: from biology and chemistry to quantum and data science", Varenna, Italy, 4-13 luglio 2019. La scuola ha visto la partecipazione di 56 studenti, tra dottorandi, post-doc e ricercatori provenienti da tutto il mondo. Le lezioni sono state tenute da docenti di elevato profilo scientifico e di fama internazionale, incluso il Premio Nobel William Phillips, provenienti da Università e Istituzioni di Ricerca, nonché dal BIPM e dai principali istituti metrologici di tutto il mondo.

Settore AE1 – Metrologia della massa e delle grandezze apparentate
Responsabile: Alessandro Germak

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Andrea Malengo	0,30	0,30	0,40		1
Adelina Leka ⁽¹⁾		0,40	0,30	0,30	1
Marco Santiano	0,40	0,40		0,20	1
Davide Torchio	0,20	0,60	0,20		1
Piergiorgio Spazzini ⁽²⁾	0,30	0,40	0,10		0,80
Aline Piccato ⁽³⁾	0,20				0,20
Gaetano La Piana	0,30	0,60	0,10		1
Marco Bisi ⁽³⁾		0,45			0,45
Domenico Mari ⁽³⁾	0,40	0,30			0,70
Stefano Pasqualin	0,20	0,70		0,10	1
Milena Astrua ⁽³⁾		0,30			0,30
Alessandro Schiavi	0,50	0,30	0,20		1
Fabrizio Mazzoleni	0,20	0,60	0,20		1
Alessandro Germak	0,30	0,30	0,20	0,20	1
Alessio Facello ⁽⁴⁾		0,40			0,40
Claudio Origlia ⁽¹⁾	0,10	0,30	0,10	0,50	1
Assegni ricerca					
Fabio Saba ⁽⁵⁾	0,30	0,30			0,60
Andrea Prato	0,50	0,30	0,20		1
<i>Totale</i>	<i>4,20</i>	<i>6,95</i>	<i>2</i>	<i>1,30</i>	<i>14,45</i>
Personale in formazione					
Filippo Sciarretta ⁽⁶⁾	0,10				0,10
Totale	4,30	6,95	2	1,30	14,55

⁽¹⁾ svolge attività anche come Assistente per la Qualità in SGQ;

⁽²⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE5;

⁽³⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE2;

⁽⁴⁾ frazione TPE inferiore a 1 dovuta a presa di servizio nel corso dell'anno;

⁽⁵⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE4;

⁽⁶⁾ tirocinio.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Massa e Densità: (ES) <i>Obiettivi.</i> Validazione del modello per la misura dell'assorbimento di campioni di massa nel passaggio vuoto-aria. <i>Attività svolta.</i> A causa dei problemi avuti nel 2018 dovuti al condizionamento della galleria è stato necessario ripetere alcune delle misure già eseguite e terminare quelle mancanti. <i>Risultati ottenuti.</i> Il modello di misura, al variare dell'umidità ambientale, ha permesso di ridurre i contributi di incertezza sui campioni di massa.</p>
<p>Portate e Volumi di gas: (IL) <i>Obiettivi.</i> Software con inseguimento profilo pistone per impianto MICROGas; metodo di valutazione del volume morto tramite aggiunta di volume nell'impianto; prove su campionatori d'aria con impianti esistenti; analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata. <i>Attività svolta.</i> È stata completata la scrittura della versione iniziale del nuovo SW per MICROGas, test preliminari soddisfacenti. È iniziato lo sviluppo dei calcoli per valutazione del volume morto e sono stati sviluppati calcoli di incertezza per integrazione di acquisizione discretizzata nel tempo. <i>Risultati ottenuti.</i> Software acquisizione impianto MICROGas versione 2.0.</p>
<p>Pressioni & Vuoto: (ES) <i>Obiettivi.</i> Sviluppo di un sistema ottico per misurare la misura della pressione di un gas mediante</p>

rifrattometria. Sviluppo di un sistema innovativo per la misura della densità/pressione di un gas mediante scattering Rayleigh.

Attività svolta. Analisi FEM delle deformazioni meccaniche di una cavità Fabry-Pérot (FP) dovute alla pressione di un gas. Sono stati progettati una nuova versione del campione ottico di pressione basato sulla misura dell'indice di rifrazione e un sistema ottico per la misura della densità/pressione di un gas mediante scattering Rayleigh.

Risultati ottenuti. L'effetto della deformazione meccanica della cavità FP dovuta alla pressione del gas, è stato valutato stimando lo spostamento relativo della distanza dei due specchi che formano la cavità in funzione della pressione: tale spostamento è risultato pari a $6.389E-12 \text{ Pa}^{-1}$, in accordo con i risultati ottenuti da PTB, RISE e LNE-CNAM, partner del progetto 18SIB04. Si è avviato uno studio analogo per l'interferometro su cui è basato il nuovo campione ottico di pressione UINT, progettato in modo da minimizzare gli effetti dovuti alla variazione di temperatura all'interno della camera da vuoto in cui l'interferometro sarà posto e rendere automatizzata la procedura di allineamento. Si è inoltre avviato un esperimento preliminare per realizzare un controllo termico in grado di garantire una stabilità in temperatura $< 5 \text{ mK}$ per un tempo di 1000 s. Si è avviata la progettazione di un nuovo layout di un sistema di misura innovativo della pressione, in un ampio intervallo da 10 Pa a 1 MPa, basato sulla misura dell'intensità luminosa dovuta allo scattering Rayleigh in presenza di molecole di gas.

Forza: (IL)

Obiettivi. Studio degli effetti di tutte le componenti del vettore forza nelle macchine di prova, elemento attualmente non considerato ma che può giocare un ruolo importante nella fase taratura e/o caratterizzazione metrologica e nel conseguente uso. Sviluppo di nuovi campioni primari e di sistemi innovativi al fine di ridurre l'incertezza nella realizzazione dell'unità di forza.

Attività svolta. È stata condotta un'analisi della produzione italiana di macchine di prova multicomponenti e della loro necessità di riferibilità delle misure. Analisi dei trasduttori di forza multicomponenti attualmente disponibili sul mercato e presso i vari NMI (EMPIR 18SIB08 ComTraForce) per lo studio di metodologie innovative di taratura. È stata aggiornata la progettazione di una nuova macchina campione di forza da 100 kN e si è condotto lo sviluppo della metodologia e la realizzazione dell'auto-taratura della macchina campione di forza da 1 MN.

Risultati ottenuti. Rapporti tecnici e pubblicazioni

Durezza: (IL)

Obiettivi. Studio dei parametri di influenza delle misure di durezza per la realizzazione della definizione delle varie scale a livello CIPM-CCM e conseguente valutazione dell'incertezza in modo più completo. Sviluppo di nuovi campioni primari e di sistemi innovativi al fine di ridurre l'incertezza nella realizzazione delle scale di durezza.

Attività svolta. È proseguita l'analisi dei fattori d'influenza delle misure di durezza. È stata condotta un'analisi delle caratteristiche meccaniche dei penetratori a sfera di carburo di tungsteno (collaborazione col Politecnico di Torino). Sono stati avviati i primi studi su algoritmi di analisi di immagini interferometriche per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante. È stato sviluppato nuovo microdurometro (in collaborazione con partner industriale).

Risultati ottenuti. Primo prototipo di microdurometro; SW di simulazione della prova di durezza HRB (penetratori a sfera di carburo di tungsteno); rapporti tecnici e pubblicazioni

Gravità: (ES)

Obiettivi. Miglioramento del gravimetro assoluto trasportabile IMG-02 al fine di aumentarne l'affidabilità e di ridurre l'incertezza di misura (miglioramento delle CMC dichiarate in ambito MRA).

Attività svolta. È iniziato lo studio di un sistema inerziale di riferimento per le misure interferometriche; è proseguito lo sviluppo di un nuovo sistema di lancio simmetrico del grave; è stato avviato lo studio di un nuovo schema interferometro ottico.

Risultati ottenuti. Realizzazione nuovo schema interferometro ottico per il gravimetro assoluto trasportabile IMG-02; rapporti tecnici e pubblicazioni.

Vibrazioni: (IL)

Obiettivi. Realizzazione, collaudo e mise-en-pratique di un sistema di taratura (primario) per le accelerazioni dinamiche e di taratura (per confronto) per lo shock di sensori accelerometrici triassiali MEMS/NEMS digitali; sviluppo di un sistema di misurazione del modulo di Young dinamico; caratterizzazione di proprietà meccaniche di metamateriali ad indice di rifrazione negativo e/o coefficiente di Poisson negativo.

Attività svolta. È stato realizzato un sistema di misura e taratura di accelerometri digitali MEMS triassiali da 0.1 ms^{-2} a 20 ms^{-2} (da 0.5 Hz a 5 kHz) e per lo shock (da 20 g a 10 000 g, da 5 Hz a 20 kHz), che prevede l'utilizzo di un opportuno supporto per la taratura simultanea su tre assi. È stata condotta attività di ricerca sulla procedura per la determinazione del modulo di Young dinamico di materiali polimerici viscoelastici soft e ultra-soft, nel campo di frequenza tra 0.1 Hz a 1 kHz. Nell'ambito del progetto PRIN2017 si indagano le procedure e le tecniche di misurazione delle proprietà rifratto-negative, nell'ambito della trasmissione di onde elastiche, in materiali a struttura periodica, tra 1 Hz e 10 kHz.

Risultati ottenuti. Realizzazione e collaudo del sistema di taratura primario di accelerazioni dinamiche per sensori digitali; collaudo del sistema di taratura per confronto a shock per sensori digitali; verifica e collaudo del sistema di misurazione del modulo di Young dinamico; studio di metodologie di misura per le proprietà meccaniche di meta-materiali.

Ruolo NMI

Massa e Densità:

Attività svolta. Pubblicazione (Draft B) dei risultati del confronto su misure di volume e densità EURAMET 1031. È stata condotta attività di taratura per conto terzi; sono stati organizzati confronti inter-laboratorio per masse e bilance. È stata eseguita attività di peer review presso gli NMI dell'Albania (DPM) e del Brasile (INMETRO) e fornito supporto all'accreditamento dei laboratori di taratura per ACCREDIA DT. In collaborazione con AE2 è stato sviluppato e validato un sistema a tavola oscillante per la misura del baricentro. Realizzazione di sistemi di misura per la misura del momento di inerzia di sistemi per applicazioni in ambito aerospaziale.

Risultati ottenuti. I risultati ottenuti permettono di richiedere un miglioramento delle incertezze di volume di un ordine di grandezza e di presentare nuove CMC per la densità. La richiesta è in corso di preparazione. Sono stati organizzati 7 ILC. Il sistema di misura sviluppato in collaborazione con AE02 permette di misurare il baricentro di oggetti con peso fino a 20 kg con incertezze inferiori allo 0,2 %, I risultati sono stati presentati al congresso "5th International Workshop on Metrology for AeroSpace".

Portate di liquidi e Volumi:

Attività svolta. È stata garantita la partecipazione in confronti internazionali e l'attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi, quali EURAMET TC-F. È stata condotta attività di taratura per conto terzi, sono stati organizzati confronti inter-laboratorio per volumi e portate, portata avanti attività di peer review presso il Laboratorio Volumi dell'Albania (DPM). È stato inoltre fornito supporto all'accreditamento dei laboratori di taratura per ACCREDIA DT.

Risultati ottenuti. Partecipazione al confronto EURAMET 1452 (campioni di volume da 20 L e 50 L); è stato organizzato 1 ILC. Si è contribuito alla stesura della nuova guida EURAMET CG21 "Guidelines on the calibration of standard capacity measures using the volumetric method".

Portate e Volumi di gas:

Attività svolta. È stato sviluppato nuovo software per impianto MICROGas (versione 2.0 completata) e preparata una prima bozza di software per acquisizione automatica su impianto BELLGas; è stato inoltre impostato il progetto di nuovo controllo per impianto MEGas. Sono state effettuate valutazioni documentali e su campo per ACCREDIA e COFRAC ed è stato fornito supporto a NMISA per preparazione e svolgimento Confronto Internazionale AFRIMET (misure rinviate a 2020); sono state effettuate misure per confronto ILC MEGASYSTEM.

Risultati ottenuti. Software acquisizione impianto MICROGas versione 2.0; prima bozza software acquisizione impianto BELLGas. Stesura del protocollo per il confronto con NMISA.

Pressioni & Vuoto:

Attività svolta. È stato migliorato il sistema ad espansione statica; sono state riviste alcune CMC e inserite nuove CMC nell'ambito della grandezza pressione. Sono stati organizzati ILC per la grandezza pressione.

Risultati ottenuti. Ultimato il miglioramento del campione ad espansione statica estendendo il limite inferiore di pressione da 9×10^{-2} Pa a 5×10^{-4} Pa. È stata eseguita una caratterizzazione metrologica con particolare riguardo alla determinazione dei rapporti di espansione. È stato effettuato un confronto di misura con il campione primario INRiM FPG e con un vacuometro a spinning rotor, che ha dato esito positivo. È ultimato il processo avviato di revisione delle CMC nell'ambito della grandezza pressione (5 CMC modificate, inserimento di 1 nuova CMC per la misura di pressioni negative. Sono stati organizzati 4 ILC per la taratura di trasduttori e bilance di pressione, in modo assoluto e relativo, mezzo liquido e gassoso, nell'intervallo tra -15 kPa e 100 MPa

Forza:

Attività svolta. Gestione e mantenimento dei campioni nazionali di Forza, svolgimento di confronti interlaboratorio, mantenimento delle CMC, esecuzione di attività di taratura, misura e prova per conto terzi; attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi: ISO TC164/SC3, EURAMET TC-M/SC Force, CIPM-CCM/WG on Force. È stato fornito supporto all'accreditamento dei laboratori di taratura per ACCREDIA-Italia, EIAC-Emirati Arabi Uniti, ISRAC-Israele e eseguita attività di peer review presso il TUBITAK-UME (Turchia); formazione tecnica per TUV-Akademia

Risultati ottenuti. Partecipazione alle riunioni ISO TC164/SC3, EURAMET TC-M/SC Force. Sono stati emessi 2 rapporti di ILC e certificati di taratura, 155 per trasduttori di forza, 10 per centraline e calibratori estensimetrici (TOT 156.000 Euro).

Durezza:

Attività svolta. Gestione e mantenimento dei campioni nazionali di Durezza, svolgimento di confronti

internazionali (EURAMET e COOMET), mantenimento e miglioramento delle CMC, attività di taratura, misura e prova per conto terzi; attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi: ISO TC164/SC3, EURAMET TC-M, CIPM-CCM/WG on Hardness; supporto all'accreditamento dei laboratori di taratura per ACCREDIA-Italia, TURKAK-Turchia, ISIRAC-Israele e peer review di INMETRO-Brasile, CENAM-Messico, TUBITAK-UME-Turchia.

Risultati ottenuti. Miglioramento dei campioni primari e dei sistemi di misura del Laboratorio; miglioramento delle CMC attuali per la taratura dei penetratori di diamante. Realizzazione primo prototipo nuovo microdurometro campione. Partecipazione alle riunioni ISO TC164/SC3, EURAMET TC-M, CIPM-CCM/WG on Hardness. Preparazione dei rapporti Draft A di due supplementary comparison e Draft B di un Key Comparison EURAMET. Emissione di certificati di taratura: 3 micrometri, 7 penetratori e 17 blocchi di durezza.

Gravità:

Attività svolta. Gestione e mantenimento dei campioni primari per la misura dell'accelerazione di gravità locale, mantenimento della CMC attuale e studio per la realizzazione di nuove CMC per la taratura dei gravimetri assoluti e relativi. Attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi: IAG, EURAMET TC-M, CIPM-CCM/WG on Gravimetry.

Risultati ottenuti. Ripristino funzionalità del Gravimetro assoluto trasportabile fermo per lungo tempo per riparazioni. Partecipazione alle riunioni IAG e EURAMET TC-M.

Vibrazioni:

Attività svolta. Riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e definizione della sensibilità "digitalizzata", sulla base delle indicazioni del documento "Strategy 2017 to 2027" (BIPM e CCAUV).

Risultati ottenuti. Redazione di 80 Certificati di taratura (TOT 40.000 Euro). Verifica sperimentale del sistema di taratura e definizione del bilancio dettagliato di incertezze.

Terza missione

Massa e Volumi:

Attività svolta. Attività di formazione.

Risultati ottenuti. Corso sulla taratura dei campioni di massa e di volume della durata di tre giorni per gli funzionari tecnici di ACCREDIA in ambito delle verificazioni periodiche (decreto ministeriale n. 93 / 2017). Corsi di formazione sulla taratura di masse, bilance e volumi, presso ANGQ

Portate di liquidi

Attività svolta. Contratto industriale con la ditta svizzera CSEM: eseguito prove tramite l'impianto Mock up del sistema di regolazione e di contabilizzazione realizzato dalla ditta.

Risultati ottenuti. Validazione dell'algoritmo utilizzato per la contabilizzazione dell'energia termica e valutazione dell'incertezza di misura. In collaborazione con la ditta CSEM è in corso la preparazione di un articolo.

Forza, Durezza, Gravimetria:

Attività svolta. Cessione di know-how; contratti di consulenza industriale; docenze Universitarie.

Risultati ottenuti. Contratto cessione di know-how per la realizzazione sistemi di misura multicomponenti; rinnovo contratto di cessione di know-how per la realizzazione di durometri campione; contratto industriale di consulenza per lo sviluppo microdurometro; docenza c/o Politecnico di Torino al Corso di Laurea di ingegneria Meccanica e dell'Autoveicolo su "Statistica Sperimentale e Misure Meccaniche".

Vibrazioni:

Sviluppo previsto. Studio di fattibilità del sistema di taratura triassiali per il trasferimento.

Risultati attesi. Divulgazione degli aspetti innovativi della sensoristica per vibrazioni basata su MEMS/NEMS digitali.

Settore AE2 – Metrologia della lunghezza
Responsabile: Marco Pisani

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Enrico Massa	0,60		0,40		1
Carlo Sasso	0,90			0,10	1
Milena Astrua ⁽¹⁾	0,20	0,50			0,70
Marco Bisi ⁽¹⁾		0,45	0,10		0,55
Domenico Mari ⁽¹⁾	0,30				0,30
Marco Pometto		0,90		0,10	1
Gianbartolo Picotto	0,50	0,40	0,10		1
Roberto Bellotti	0,30	0,60		0,10	1
Mauro Franco		0,90		0,10	1
Aline Piccato ⁽¹⁾	0,70	0,10			0,80
Alessandro Balsamo	0,20	0,30	0,40	0,10	1
Emanuele Audrito	0,30	0,60		0,10	1
Davide Corona	0,20	0,50	0,20	0,10	1
Giovanni Mana	1				1
Marco Pisani	0,50	0,10	0,30	0,10	1
Massimo Zucco ⁽²⁾		0,10			0,10
Assegni ricerca					
Luigi Ribotta	0,80				0,80
Andrea Egidi	1				1
Totale	7,50	5,45	1,50	0,80	15,25
Personale in formazione					
Luigi Ribotta ⁽³⁾	0,20				0,20
Srijith Bangaru Thirumalai Raj	1				1
Totale	8,70	5,45	1,50	0,80	16,45

⁽¹⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE1;

⁽²⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività ML4;

⁽³⁾ dottorato di ricerca.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Interferometria X/ottica (COXI) <i>Obiettivi.</i> R&S interferometria X/ottica e realizzazione del kilogrammo in collaborazione con IAC. <i>Attività svolta.</i> Topografia a contrasto di fase a supporto dell'interferometria X/ottica a cristalli separati per lo studio delle deformazioni indotte sulla superficie e nel bulk del cristallo. Simulazione FEM per analizzare la deformazione dovuta al peso proprio di una sfera di silicio. <i>Risultati ottenuti.</i> Set-up per la topografia a contrasto di fase operativo. La tecnica è in grado di determinare la variazione relativa della configurazione dei piani atomici. Gli interferometri monolitici: SKEW, WS6, PF1, PF2A, PF2B, PF4 sono stati sottoposti a misura confermando i risultati sperimentali ottenuti negli anni 2000. In seguito i cristalli sono stati sottoposti a ricottura a 800 °C in vuoto (collaborazione con L. Martino). Il trattamento termico migliora la qualità del segnale d'interferenza. Ultimato lo studio sulla deformazione del volume della sfera: i risultati evidenziano una variazione relativa compresa tra $0.3 \cdot 10^{-9}$ e $5.1 \cdot 10^{-9}$, in funzione dell'orientazione del cristallo e dell'esperimento considerato. Articolo sottoposto a Metrologia.</p>
<p>Bilancia elettrostatica: <i>Obiettivi.</i> Realizzazione del campione di massa e/o forza alla scala dei milligrammi. <i>Attività svolta.</i> Indagine sui limiti della bilancia sviluppata nel 2018, e pianificazione delle soluzioni. Mantenimento dei contatti con gli attori internazionali del campo attraverso il consorzio della Kibble Balance (partecipazione a KBTM2019).</p>

Nanometrologia e superfici

Completato e pubblicato lo studio sulla caratterizzazione ottica morfologica-funzionale dei conduttori stampati su celle fotovoltaiche (collaborazione con AMAT). Completato lo studio sui parametri di tessitura ottimali a descrivere le superfici di campioni da goffatura industriale (collaborazione con CRF-FCA).

Realizzato prototipo di test di un nuovo interferometro z differenziale per microscopio a sonda metrologico (mAFM). Realizzati e testati nuovi sensori capacitivi a multielettrodo con elettronica di misura a ponte per misura differenziale di micro/nanospostamenti. Preparazione di nuovi campioni con particelle di forma complessa di TiO₂ (collaborazione con UniTo) e con nanostrutture di origine vegetale (con CNR-IPSP) distribuiti a PTB, DFM e VTT-MIKES nell'ambito del progetto 3DNano. Completato con successo lo studio pilota sulla misura AFM del diametro medio di nanoparticelle tra 15 nm e 50 nm. Prosegue lo studio dell'interazione punta-campione-substrato e della compensazione degli errori associati alla forma finita della punta. Risultati presentati a: VI Nano Today e Nanoscale 2019. Due articoli sottomessi Atti Nanoscale 2019.

Metrologia a coordinate e lunghe distanze

Obiettivi: Due progetti EMPIR: EUCoM (coordinatore di progetto) su valutazione dell'incertezza nella metrologia a coordinate e LaVA (WP leader) su metrologia per macchine utensili di grandi dimensioni.

Attività svolta. Indagine sulla relazione tra parametri normalizzati di macchine a coordinate (CMM) per facilitare la separazione di componenti d'errore; Sviluppo di un metodo sperimentale per la valutazione dell'incertezza nelle misure a coordinate. Realizzazione di un prototipo di sensore unidimensionale senza contatto per macchine utensili, a basso costo ed idoneo ad essere dato in dotazione alla macchina stessa. Allestito un set-up sperimentale per la misura della velocità del suono in aria nella camera semi-anechoica dell'INRiM. Confronto dei primi risultati sperimentali con il modello teorico di Cramer.

Risultati ottenuti. Le evidenze sperimentali presentate al ISO/TC213/WG10 hanno portato ad adottare un nuovo schema descrittivo per le CMM nelle future norme (EUCoM). La validazione sperimentale nel progetto EUCoM è stata preparata per consentire una transizione dolce con la precedente fase di sviluppo. I risultati dello studio preliminare del sensore prototipo mostrano una risoluzione dell'ordine di 10 µm, non ancora sufficiente ma promettente per lo scopo (LaVA).

Metrologia per lo spazio

Obiettivi: mantenere la collaborazione con le agenzie spaziali e con l'industria aerospazio attraverso contratti di ricerca. Migliorare le facilities a supporto dell'attività.

Attività svolta e Risultati ottenuti

Messa in opera di una camera pulita classe ISO 6 su tavolo ottico 2 x 1 m per assemblaggio di parti ottiche e meccaniche. Migliorato di 1 o.d.g. l'interferometro LIG-A (laser interferometry gauge) per misure di accelerazione (densità spettrale 100 pm/sqrt(Hz) a 1 mHz. Allestito un test di misura interferometro "spatially separated" basato su truncated corner cube. Attivato progetto Proof of Concept for New Generation Gravity Mission (PoC-NGGM) con Thales (50 k€). Proposta in collaborazione con un'impresa di Torino (EICAS) per la taratura di star trackers (50 k€). Associazione di INRiM al consorzio scientifico della missione LISA. Sviluppo di modelli teorici per la simulazione del link interferometrico dell'antenna gravitazionale e stima degli effetti delle aberrazioni dei telescopi sull'accoppiamento 'Tilt To Length'.

Ruolo NMI

Metrologia per lo spazio

Realizzata un prototipo dimostratore per una stazione per la misura dei momenti d'inerzia di satelliti

Metrologia dimensionale e campione del metro

Attività svolta.

Coordinamento del confronto EURAMET.L-K4 2015. Completamento misure INRiM a fine circolazione gruppo 2. Stesura e distribuzione del draftA. Misure INRiM per il confronto bilaterale SIM.L-K7.2016 su riga ottica in zerodur da 280 mm. Stesura e distribuzione draftA e draftB. Mantenimento delle stazioni di taratura di blocchetti pianparalleli corti (fino a 100 mm), campioni diametrali e lineari, righe ottiche e compensatori ambientali, con emissione di 28 Certificati. Completamento del rinnovo della stazione di taratura di blocchetti pianparalleli lunghi (fino a 1000 mm). Mantenimento dell'unità di lunghezza. Emissione di 7 Certificati (interni) ed 1 rapporto di prova. Realizzazione di una nuova stazione automatica di taratura di potenziometri angolari, basata su un encoder angolare, un motore µstep e interfaccia basata su Arduino e LabVIEW. Organizzazione di un ILC per le misure di rotondità con 4 centri LAT. Riparazione del circuito per la scarica RF (collaborazione con L. Oberto) del ring laser, riempimento della cavità: osservate le prime frange d'interferenza. Realizzazione di un set-up per la caratterizzazione angolare di un encoder assoluto basato su trattamento d'immagine (nanoGPS OxyO) in collaborazione con HORIBA France. Articolo sottomesso alla rivista Sensors. Laser Winters: sostituzione del tubo laser, riallineamento e pulizia; misura dei coefficienti di sensibilità; misura assoluta della frequenza. Misura della frequenza del laser IMGC4.

Risultati ottenuti.

I risultati dei confronti resi noti nel 2019 per campioni diametrali (draftA dei CCL-K4 e draftA EURAMET.L-K4), calibri a passi di 620 mm (draftA EURAMET.L-K5) e di campioni a gradino fino ad 1mm (draftA

EURAMET.L-S26) supportano le CMC attuali con possibile estensione del campo di misura di campioni a gradino e possibile estensione campo di misura fino a 620 mm e riduzione incertezza per i calibri a passi.
<p>Metrologia a coordinate e lunghe distanze <i>Attività svolta.</i> Prosecuzione dello sviluppo della stazione di taratura per calibri a passi fino a 1 020 mm. Messa in qualità di attività di taratura interferometrica anche esterna su macchine di misura monoassiali. <i>Risultati ottenuti.</i> Nuova capacità di misura per la taratura interferometrica anche esterna su macchine di misura monoassiali con incertezza di $Q[0,04 \mu\text{m}, 0,72 \times 10^{-6} \text{L}]$. Emessi 2 Certificati.</p>
<p>Nanometrologia e superfici <i>Attività svolta.</i> Mantenimento delle stazioni di taratura di campioni a gradino e di rugosità, reticoli e griglie 1D e 2D, con emissione di 10 Certificati di Taratura e 1 Rapporto di Prova. <i>Risultati ottenuti.</i> Pubblicati i risultati finali del confronto APMP.L-S5 e dello studio pilota (3DNano) sulla misura del diametro medio di micro e nanoparticelle (quasi)sferiche, che confermano entrambi le nostre capacità di misura con il microscopio a sonda metrologico. Verranno proposte nuove CMC.</p>
Terza missione
<p>Attività Obiettivi. Divulgazione della cultura metrologica attraverso corsi, tirocini, conferenze articoli ecc.</p>
<p>Divulgazione scientifica sul nuovo SI. RAI cultura - NAUTILUS puntata Mercoledì 20 marzo ore 21:30: Le misure contano. Scuola Internaz. Varenna 4-13 luglio 2019 due lezioni: The new kilogram, The Avogadro project. XXXIX Congress of the Italian Soc. for the History of Physics and Astronomy: The new kilogram. Festival delle eccezioni - Casperia - Contando gli atomi. Il chilogrammo ed il nuovo SI. 58° Congresso AIF (BS) Il chilogrammo nel nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura. Mantova Scienza - Mantova - Questione di misura. Le novità introdotte nel 2018 per il SI. 27/2/2019 Liceo Manzoni - MI - 2019: UN ANNO SMISURATO. Cambiano le unità di misura fondamentali 18/05/2019 Castello del Valentino - TO - SI cambia: storia e orizzonti futuri della scienza delle misure 20/5/2019 Accademia delle Scienze (TO) - Il nuovo sistema Internazionale di unità di misura: antefatti e situazione attuale. Punti Visita per scuole. Articolo in due parti sulla rivista <i>Probing</i> (numeri 25 e 26). 2019-05-16 Università di Padova (RO) - Presentazione ad InTeRSeC 37.</p>
<p>Supporto all'accreditamento: Analisi documentale (procedure e documenti della qualità) e Visite Ispettive (rinnovi e sorveglianze) in conto ACCREDIA-Dipartimento Laboratori di Taratura.</p>
<p>Associazione CMM Club Italia: Coordinamento generale (Presidenza). Raggiunto il numero di 62 Soci. Organizzati due seminari: InTeRSeC 37, Rovigo 2019-05-16, e InTeRSeC 38, Provaglio d'Iseo (BS) 2019-11-22. Pubblicati due numeri della rivista <i>Probing</i> (25 e 26). Rinnovato il sito web associativo.</p>
<p>Normazione tecnica: Coordinamento del ISO/TC213/WG4 sull'incertezza. Partecipazione a 2 riunioni della ISO/TC213/WG10, CERN (Ginevra, CH) 2019-01-28/02-08 e Berlino (DE) 2019-09-09/20. Presidenza della UNI/CT047 e dei suoi GL4 e GL6.</p>

Settore AE3 – Misure elettriche ed elettroniche
Responsabile: Pier Paolo Capra

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Luciano Bellavia	0,20	0,60	0,20		1
Luca Cinnirella ⁽¹⁾	0,05	0,35	0,05	0,05	0,50
Paolo Roccato	0,20	0,60	0,20		1
Pier Paolo Capra	0,35	0,35	0,20	0,10	1
Flavio Galliana	0,40	0,40	0,20		1
Roberto Cerri	0,40	0,40	0,20		1
Luca Roncaglione	0,20	0,20	0,50	0,10	1
Marco Lanzillotti	0,20	0,20	0,60		1
Fulvio Francone	0,40	0,30	0,30		1
Iulian Mihai ⁽²⁾		0,20			0,20
<i>Totale</i>	<i>2,40</i>	<i>3,60</i>	<i>2,45</i>	<i>0,25</i>	<i>8,70</i>
Personale in formazione					
G. Marengo ⁽³⁾	0,20				0,20
A. Drago ⁽³⁾	0,20				0,20
Totale	2,80	3,60	2,45	0,25	9,10

⁽¹⁾ frazione TPE inferiore a 1 dovuta a impiego Part-Time e dimissioni a dicembre;

⁽²⁾ frazione TPE inferiore a 1 dovuta ad assunzione nel corso dell'anno;

⁽³⁾ tirocinio.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Laboratorio del campione di resistenza e misure di resistenza in dc <i>Obiettivi</i> miglioramento ed estensione delle capacità di misura della resistenza elettrica. <i>Attività svolta.</i> Avviata la sperimentazione delle misure di resistenza di valori superiori a 100 Tohm e caratterizzazione campioni materiali decadici. Modifiche ai programmi di controllo della strumentazione e di misura. <i>Risultati ottenuti.</i> Misure preliminari di resistenza superiore a 100 T effettuate con due sistemi di misura a confronto.</p> <p><i>Obiettivi</i> Sviluppo di tecnologie per la verifica in linea della qualità delle saldature laser per applicazioni industriali <i>Attività svolta.</i> Sperimentazione di un sistema multifunzione per acquisizione spettrofotometrica e iperspettrale dell'area di plasma prodotto da saldatrici industriali (prog. ECOWELD +) <i>Risultati ottenuti.</i> Correlazione tra dati derivati dalle acquisizioni ottiche e le analisi chimico-fisiche di particolari in acciaio e alluminio saldati con tecnologia Laser e TIG.</p>
<p>Laboratorio del campione di tensione dc <i>Obiettivi.</i> Aumento del numero di stazioni di misura automatiche per la taratura della strumentazione multifunzione. <i>Attività svolta.</i> Ultimata la progettazione del nano divisore automatico. Realizzazione del primo prototipo ultimata e in fase di caratterizzazione preliminare. <i>Risultati ottenuti.</i> Sono già disponibili misure eseguite in modo completamente automatico effettuate su strumenti in taratura, l'analisi dei risultati è in corso.</p>
<p>Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti <i>Obiettivi.</i> Caratterizzazione e validazione di sistemi di misura per firma elettrica. <i>Attività svolta</i> esecuzione di verifiche sperimentali per la caratterizzazione e validazione di sistemi di misura per firma elettrica installati in campo. <i>Risultati ottenuti.</i> Validata la soluzione di misura installata in campo.</p>

Ruolo NMI
<p>Laboratorio del campione di resistenza e misure di resistenza in dc <i>Attività</i> Revisionate le procedure tecniche di misura in tutti i campi attualmente coperti da CMCs. Sono state effettuate ulteriori caratterizzazioni del prototipo di campione multifunzione di resistenza e tensione continua previste dal contratto industriale con la MI canadese. <i>Risultati ottenuti.</i> I laboratori coinvolti hanno migliorato tutta la documentazione richiesta dal sistema di qualità e dalle normative di riferimento. Nuovi campioni per il mantenimento delle unità elettriche sono stati realizzati e attualmente in fase di caratterizzazione.</p>
<p>Laboratorio di taratura strumenti multifunzione <i>Attività svolta.</i> Modifica di tutte le procedure tecniche di misura, stesura di nuove edizioni in linea con le recenti direttive del SQ. <i>Risultati ottenuti.</i> Rinnovo della documentazione tecnica e approvazione delle modifiche effettuate ottenuta in sede di peer review.</p>
<p>Laboratorio del campione di tensione dc <i>Attività svolta.</i> Sviluppato un software di controllo per il prototipo di nano-divisore automatico. Il divisore opera in modo automatico mediante un controllo da pc e rende possibile l'automazione di misure precedentemente possibili solo manualmente. <i>Risultati ottenuti.</i> Il sistema di misura migliora e ottimizza tempi e strumentazione di laboratorio, riducendo i costi delle tarature e errori umani nella gestione dei dati di misura e della loro elaborazione.</p>
<p>Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti <i>Obiettivi.</i> Riattivazione delle CMC per la taratura dei sistemi per la misura di alte tensioni impulsive <i>Attività svolta.</i> A seguito dei risultati preliminari del confronto internazionale EURAMET.S42 si è proceduto alla riedizione della procedura tecnica per le misure delle alte tensioni impulsive. <i>Risultati ottenuti.</i> Avanzamento dell'iter di riattivazione delle CMC.</p>
Terza missione
<p>Trasferimento tecnologico <i>Obiettivi.</i> Consulenza e validazione di condotti sbarre industriali <i>Attività svolta.</i> Prove sperimentali e supporto tecnico nello sviluppo e nel miglioramento di condotti sbarre e loro componenti. <i>Risultati ottenuti.</i> Supporto tecnologico ad aziende.</p>
<p>Normazione tecnica <i>Obiettivi.</i> Contribuire allo sviluppo tecnico e divulgare in Italia. <i>Attività svolta.</i> partecipazione CT CEI, partecipazione ACAE. <i>Risultati ottenuti.</i> Verifica e controllo attività di aziende del territorio, trasferimento tecnologico e consulenza.</p>
<p>Corsi e divulgazione <i>Obiettivi.</i> Divulgazione della conoscenza della sicurezza elettrica e delle attività del LATFC <i>Attività svolta.</i> Aperture al pubblico del LATFC in occasione del WMD 2019, Open House 2019, Notte dei Ricercatori, realizzazione di un video didattico-dimostrativo Corso di misure elettriche ed elettroniche ai tecnici di Enel Energia ILC Provider per centri LAT italiani relativi a varie grandezze elettriche <i>Risultati ottenuti.</i> Diffusione della cultura elettrica a favore del pubblico.</p>
<p>Convenzioni di collaborazione scientifica <i>Obiettivi.</i> Supporto alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori <i>Attività svolta.</i> Contributo alla stesura della convenzione di collaborazione scientifica con il MISE (in collaborazione con QN2) per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori <i>Risultati ottenuti.</i> Stipula della convenzione</p>

Settore AE4 – Termodinamica fisica
Responsabile: Roberto Gavioso

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Mauro Banfo ⁽¹⁾	0,30	0,40			0,70
Fabio Bertiglia	0,50	0,50			1
Giuseppe Braccialarghe		1			1
Roberto Dematteis	0,30	0,60	0,10		1
Vito Fernicola ⁽¹⁾	0,30	0,20	0,10	0,10	0,70
Michael Florio	0,30	0,50	0,10	0,10	1
Roberto Gavioso	0,60		0,10	0,30	1
Ferruccio Girard	0,30	0,60	0,10		1
Domenico Giraudi ⁽²⁾	0,20	0,20			0,40
Alberto Giuliano Albo	0,80	0,20			1
Luigi Iacomini ⁽³⁾	0,20	0,50		0,30	1
Simona Lago	0,60	0,10	0,20	0,10	1
Giuseppina Lopardo	0,40	0,50	0,10		1
Daniele Madonna Ripa	0,70	0,30			1
Lucia Rosso	1				1
Denis Smorgon ⁽¹⁾	0,30	0,30	0,10		0,70
Assegni ricerca					
Giulio Beltramino	1				1
Rugiada Cuccaro	1				1
Dario Imbraguglio	0,50	0,50			1
Martina Fogliati	0,50				0,50
Raffaella Romeo	1				1
<i>Totale</i>	<i>10,80</i>	<i>6,40</i>	<i>0,90</i>	<i>0,90</i>	<i>19</i>
Personale in formazione					
Giuseppe Cavuoto ⁽⁴⁾	1				1
Martina Fogliati ⁽⁴⁾	0,50				0,50
Giovanni Gugliandolo ⁽⁴⁾	1				1
Fabio Saba ^(4,5)	0,40				0,40
Shahin Tabandeh ^(4,1)	0,70				0,70
Personale associato					
Peter Steur	0,30	0,30			0,60
Maria Pia Bussa			0,10		0,10
Totale	14,70	6,70	1	0,90	23,30

⁽¹⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE5;

⁽²⁾ frazione TPE inferiore a 1 dovuta a impiego Part-Time;

⁽³⁾ svolge attività anche come Assistente per la Qualità in SGQ;

⁽⁴⁾ dottorato di ricerca;

⁽⁵⁾ restante frazione TPE in partecipazione attività AE1.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
Nel corso del 2019 l'attività di ricerca del settore ha prodotto 12 pubblicazioni su rivista internazionale (RI)
Termometria
<i>Obiettivi.</i> Completamento misure di termometria a indice di rifrazione (RIGT) previste nel progetto 15SIB02-InK2. Completamento studio applicazioni di termometria fotonica basate sulla fotoluminescenza di solidi e sull'impiego di risonatori dielettrici. Realizzazione di un sistema di misura e controllo della temperatura di una cella a vapori di mercurio utilizzata per lo sviluppo, presso l'Università della Campania, di un termometro primario basato su spettroscopia Doppler (DBT). Conclusione dello sviluppo di un sistema di taratura per sensori di flusso termico (HFM). Caratterizzazione metrologica di termometri a radiazione campioni primari, valutazione e riduzione dell'incertezza dovuta alla determinazione della lunghezza d'onda effettiva e alla

non-linearità. Ripristino di un forno a grafite per utilizzo fino a 3000 °C.

Attività svolta. Si sono completate le previste misure RIGT delle differenze ($T-T_{90}$) fra 13 K e 170 K. Nell'ambito del Progetto EMPIR 17IND04 - Empress 2 è stata progettata una sonda a fibra ottica, basata su speciali fosfori termosensibili (Cr:YAP e Cr:YAG), utile per la misura della temperatura superficiale in applicazioni dell'industria automobilistica. È proseguito lo sviluppo di metodi termometrici ad altissima risoluzione (decine di microkelvin) basati su risonatori dielettrici in modo galleria (whispering gallery) per la realizzazione di campioni di temperatura di trasferimento utili per applicazioni scientifiche e industriali. Nell'ambito di un progetto PRIN 2015 dedicato allo sviluppo della termometria DBT è stato progettato e realizzato un sistema di termostatazione dedicato a una cella spettroscopica in quarzo contenente atomi di mercurio alla pressione di 0.01 Pa. La cella comprende un blocco in rame in cui sono inseriti due termometri campione a capsula tarati fra 234 K e 430 K ai punti fissi della scala ITS-90. Misure di trasmissione, taratura, e aggiornamento software di nuovi monocromatori; modifica del setup sperimentale del forno ad altissima temperatura Chino IR-R80 per tarature speciali fino a 2500 °C di termometri per uso industriale; caratterizzazione del forno GHA 12/450 e di nuovo tubo di calore al sodio realizzato in Haynes 230 per impiego continuativo a temperature di lavoro fino a 1100 °C.

Risultati ottenuti. Sono stati pubblicati (R11) i risultati di termometria acustica primaria (AGT) precedentemente ottenuti nel corso dei progetti InK e InK2. È stato pubblicato (R12) un lavoro di rassegna sulla termometria primaria a indice di rifrazione (RIGT). Sono stati pubblicati (R13) i risultati ottenuti nello sviluppo di metodi di misura della temperatura superficiale basati su fosfori termosensibili. Sono stati pubblicati i risultati di un confronto internazionale sul realizzazione del punto triplo dello xenon (R14); lo studio degli effetti dovuti alla presenza di argon in tracce sul punto triplo dell'ossigeno (R15); lo studio della composizione isotopica del punto triplo del Neon (R16). Il sistema di termostatazione realizzato per il controllo di una cella a vapori di mercurio utilizzata per termometria DBT ha dimostrato eccezionale stabilità (< 0.1 mK) - tali prestazioni permetterebbero di ridurre a meno di 5 ppm l'incertezza relativa delle misure DBT. Pubblicazione (R17, R18) dei risultati ottenuti, in collaborazione con Università di Cassino, sullo sviluppo del sistema di taratura per HFM. Costruzione di una cavità a corpo nero a doppia apertura in carburo di silicio per forno Lindberg per temperature di lavoro fino a 1700 °C. Completata bonifica da amianto forno Pereco (3000 °C). Pubblicato Rapporto Tecnico (RT-2019-11) su caratterizzazione circolatore termostatico Julabo A40.

Igrometria

Obiettivi. Sviluppo di generatori campioni di umidità in matrice gassosa, funzionanti in regimi estesi di temperatura e pressione; sviluppo di metodi di calcolo e misurazione delle proprietà di miscele di gas reali; misure accurate di pressione di vapore saturo dell'acqua (ordinaria e deuterata).

Attività svolta. Caratterizzazione e validazione di generatori primari di miscele umide nell'intervallo compreso fra -100 °C e 180 °C, da pressione sub-atmosferica (200 hPa) fino a 0.6 MPa, anche con tecniche basate su risonatori a microonde. Misure sperimentali di pressione di vapore saturo dell'ossido di deuterio allo stato liquido tra -18 °C e +13 °C; misure preliminari della temperatura del punto triplo del D₂O.

Risultati ottenuti. Le misure di pressione di vapore del D₂O sono state completate e sono state accettate per la pubblicazione (2020). Sono stati pubblicati (R19) i risultati del lavoro di sviluppo di metodi e dispositivi innovativi utili per la conservazione delle proprietà biologiche e fisico-chimiche di reperti di interesse storico.

Proprietà termofisiche

Obiettivi. Misura di proprietà termodinamiche (velocità del suono, densità, calore specifico) di fluidi refrigeranti, acqua (marina, deuterata) e metano liquido.

Attività svolta. Sviluppo di un densimetro a ultrasuoni e di un criostato per misure di velocità del suono e densità; caratterizzazione di una cella per la misura del calore specifico che opera con onde termiche periodiche.

Risultati ottenuti. Completate e pubblicate (R110, R111) le misure di densità in acqua marina standard; completate e pubblicate (2020) le misure di velocità del suono in metano liquido e acqua pesante; completate le misure di velocità del suono nel refrigerante R-1224yd(Z); pubblicati i risultati di misure di velocità del suono in gas refrigerante R-1234ze(Z) (R112)

Ruolo NMI

Gestione e mantenimento dei campioni nazionali, svolgimento di confronti internazionali, nazionali e interlaboratorio, sviluppo e mantenimento di CMC, attività di certificazione, misura e prova per conto terzi (Attività e risultati ottenuti)

Termometria

Riparazione e caratterizzazione di nuovo punto fisso dell'Argon; caratterizzazione e messa in funzione di un forno (ISOTECH 17706) per la realizzazione dei punti fissi dell'argento, dell'alluminio e zinco. È stato valutato, in termini di rumore elettrico, un forno commerciale Carbolite-Gero che combinato con un nuovo *heat-pipe* al potassio rinnoverà la strumentazione del laboratorio dei punti fissi per temperature intermedie.

Taratura, fino a 2500 °C, di due termometri a radiazione campioni primari a 650 nm e 900 nm (LR1 e Chino IR-RST90H) e di due termometri a infrarosso utilizzati come campioni di riferimento per il laboratorio tarature. Audit annuali dei laboratori termometria a radiazione campioni e tarature.

E' stata richiesta la pubblicazione di 9 nuove CMC in ambito CIPM MRA (1 per la taratura di RIRT da 4 K a 27 K, 5 per la taratura di termocoppie, 3 per la taratura di catene termometriche) e di modifica di 19 CMC già riconosciute per riduzione incertezza, campi e condizioni di misura (CMC submission 2019). Per le misure di densità nei liquidi, è proseguita l'attività tecnica propedeutica alla proposta di una nuova CMC.

Confronti internazionali: Euramet P1268 (T-S3) di termocoppie Pt/Pd nell'intervallo fra 419,527 °C e 1492 °C - esame congiunto e chiusura del Draft A, circolazione del Draft B; Euramet P1457 (T-S7) per la misura dei parametri richiesti per la realizzazione di scale temperatura di radianza tra 150 °C e 1100 °C - revisione del protocollo del confronto, approvazione da parte del WG KC (2020).

Attività di certificazione: sono stati emessi: (Lab. Termometria Industriale - 80 certificati di taratura di cui 50 interni per laboratori INRiM); (Lab. Temperature Intermedie - 41 certificati di taratura fra termometri SPRT a stelo lungo, SPRT a capsula e termocoppie); (Lab. Termometria a radiazione - 35 certificati di taratura).

Sono stati proposti 16 confronti interlaboratorio (ILC) per la taratura di termometri industriali ed emesse 30 relazioni ILC.

Supporto all'attività di ACCREDIA con ruoli di ispettore tecnico nelle valutazioni documentali e sul campo; collaborazione con ACCREDIA per la stesura del DT-09-DT "Linea guida per la taratura di termometri a immersione" (pubblicata a maggio 2019). Nell'ambito del gruppo normativo CEI 65B GdL 5 sono continuati i lavori per l'aggiornamento delle norme IEC 60584-3 e IEC 60751. Collaborazione con AESS01 per la taratura del Campione Nazionale di portate di gas MEGAS (RT 15/2019).

Igrometria

Partecipazione confronto chiave EURAMET.T- K8.1 Comparison of realizations of local scales of dew-point temperature of humid gas.

Sono stati emessi 32 certificati per tarature interne e 14 certificati per tarature conto terzi.

Sono stati proposti e organizzati 4 ILC (14 partecipanti) ed emesse 6 relazioni ILC oltre a 2 certificati per misure in campo: 2

Giornate uomo per incarichi per attività di accreditamento: 13.5

Attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi

Il percorso necessario per acquisire il riconoscimento dell'Italia come membro effettivo dell'International Association of the Properties of Water and Steam (IAPWS) è proseguito con la partecipazione dell'INRiM alla riunione annuale della IAPWS con l'obiettivo di costituire un comitato nazionale di soggetti interessati.

Terza missione

Eventi culturali, divulgazione scientifica

Organizzazione Convegno Annuale EURAMET TC-T (30 partecipanti);

Organizzazione di due edizioni nazionali del workshop/training "Riferibilità delle misure di umidità relativa e temperatura dell'aria" (150 partecipanti) a conclusione del progetto 15RPT03 HUMEA.

Didattica universitaria e formazione

Attività di docenza universitaria in corsi di laurea magistrale presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino per un totale di 3 corsi ("*Thermal measurements and controls*", "*Sperimentazione e progettazione di tecnologie energetiche*", "*Acustica*"), 105 h di lezione frontale, 18 crediti formativi;

Attività di docenza per corso di dottorato "*Thermal measurement and control methods*" (25 h – 5 CFU);

Research Mobility Grant (Tubitak - 3 mesi) su progetto EMPIR 15SIB02 in termometria acustica.

Attività di addestramento per tirocinanti (1 per 6 mesi - igrometria), personale NMI esteri (1 per 1 mese – NMISA - igrometria), stagisti internazionali (1 per 1 mese ENGIE/CNAM).

Attività di addestramento di tirocinanti scuole superiori.

Attività di tutoraggio di dottorandi (3 Metrologia Politecnico di Torino, 1 LNE-CNAM).

Settore AE5 – Termodinamica applicata
Responsabile: Andrea Merlone

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Mauro Banfo ⁽¹⁾	0,30				0,30
Stefano Pavarelli	0,40	0,40		0,20	1
Vito Fericola ⁽¹⁾	0,30				0,30
Paola Iacomussi	0,80	0,10	0,10		1
Andrea Merlone	0,40	0,30	0,10	0,20	1
Francesca Romana Pennechi	0,70	0,10	0,20		1
Giuseppe Rossi ⁽²⁾	0,50	0,10	0,10		0,70
Michela Sega	0,20	0,20	0,20	0,20	0,80
Pier Giorgio Spazzini ⁽³⁾	0,20				0,20
Denis Smorgon ⁽¹⁾	0,30				0,30
Assegni ricerca					
Graziano Coppa	0,90		0,10		1
Francesca Rolle	0,50	0,30	0,20		1
<i>Totale</i>	<i>5,50</i>	<i>1,50</i>	<i>1</i>	<i>0,80</i>	<i>8,80</i>
Personale in formazione					
Shahin Tabandeh ^(1,4)	0,30				0,30
Jennifer Vella ⁽⁵⁾	0,20				0,20
Luca Nani ⁽⁵⁾	0,20				0,20
Personale associato					
Giuseppe Rossi	0,30				0,30
Totale	6,50	1,50	1	0,80	9,80

(1) restante frazione TPE in partecipazione attività AE4;

(2) pensionamento nel corso dell'anno e conseguente associatura;L;

(3) restante frazione TPE in partecipazione attività AE1;

(4) dottorato di ricerca;

(5) tirocinio.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Chimica e analisi statistica associata</p> <p><i>Obiettivi.</i> Sviluppo di modelli e codici per il trattamento statistico di oggetti multicomponente, in applicazioni chimico/ambientali; misure e modelli per la diluizione dinamica; valutazione delle incertezze per misure di parametri chimico/fisici marini; ottimizzazione della procedura di preparazione di miscele gassose di riferimento per la misura di rapporti di isotopi stabili in CO₂ (¹³C e ¹⁸O) (EMPIR SIRS); termogravimetria, Titolazione Karl Fischer e analisi Evolved Water Vapour su matrici reali.</p> <p><i>Attività svolta.</i> Analisi e modellizzazione dati di temperatura e salinità misurate da sonde marine ARGO e XBT (con ENEA - CRAM). Miscele gravimetriche di CO₂ a composizione isotopica variabile (EMPIR 16ENV06 SIRS); valutazione incertezza e caratterizzazione di miscele da spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier. Messa a punto di metodiche basate sulle tecniche elettrochimiche titolazione KF e analisi "Evolved Water Vapour" per matrici solide/porose, anche di interesse museale.</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Invio "Guide for evaluation of risks of conformity assessment [...]" (IUPAC/CITAC n. 2018-004-1-500), sviluppo di modelli per dati composizionali (IUPAC/CITAC n. 2019-012-1-500); 2 presentazioni ad Isranalytica 2019. Sviluppo bilancio delle incertezze per la taratura di strumentazione analitica mediante miscele primarie da diluizione dinamica (EMPIR 17NRM05 EMUE): poster e presentazioni a congresso</p>
<p>Termometria termodinamica per contatto</p> <p><i>Obiettivi.</i> Studio delle prestazioni di "Compact air data probe" (sensori temperatura e pressione) per velivoli (H2020 MIDAS), in tunnel EDDIE. Misure di pressione per sistemi RIGT e AGT", RMG presso LNE-CNAM.</p> <p><i>Attività svolta.</i> RMG progetto INK-2 presso LNE-CNAM. Costruzione di sistema passivo di termostatazione</p>

("B-Box") e linee di pressione per sistema RIGT. Avvio dei lavori per progetto "EMPIR RealK" su utilizzo di "Gas-Controlled Heat Pipes, "call for instruments" per HTSPRTs da altri NMI per le misure. Piano di misure di caratterizzazione dei sensori MIDAS con PoliTo e Piaggio.

Risultati ottenuti. Presentazione al congresso MetroAeroSpace e relativa pubblicazione riguardo al contributo INRiM al progetto MIDAS. Miglioramento delle capacità di misura di temperatura e pressione RIGT e AGT", RMG presso LNE-CNAM.

Meteorologia e climatologia

Obiettivi. Contributi a WMO in metrologia ambientale, in artico, ambiente alpino, grotte; valutazione di record storici di temperatura in climatologia; radiosonde GRUAN e miniradiosonde per fluidodinamica delle nuvole
Attività svolta. Conclusione dei lavori di valutazione dei record storici di temperatura 2016 e 2017 con WMO. Avvio del progetto EMRP 03NRM18 "INCIPIT" (coordinamento INRiM) su "non-catching rain gauges". Studio dei dati delle campagne Alpine e in Artico (2017 e 2018). Avvio progetto Metrology for Caves con PoliTo e CAI catene termometriche in Grotte di Bossea. Nuova camera di taratura portatile per termometri e barometri "EDIE". Conclusione dell'analisi dati intercomparison di radiosonde con IMAA-CNR per GRUAN, Caratterizzazione dei materiali per gli involucri delle miniradiosonde e delle performance dei sensori (progetto "Complete" PoliTo). Valutazione di incertezze nella "near surface temperature"; progetto H2020 "Copernicus Climate Change Service" 3.11 a - Lot.3

Risultati ottenuti. Ufficializzazione mediante press release, inclusione in database WMO dei risultati INRiM sulla validazione del terzo record di temperatura mai registrato al mondo (54.87 °C, Kuwait 2016). Pubblicazione del paper: A. Merlone, et al. Int. J. Climatology, citazione da rivista Nature (Sept. 2019);. Opening keynote lecture al congresso "Tempmeko 2019 – Chengdu – Cina". Realizzazione e messa a disposizione del "users uncertainty calculation tool" per misura della temperatura dell'aria e Manuale d'uso progetto C3S Lot 3.11. INCiPIT, Kick, off meeting e web meetings, studio preliminare del generatore di pioggia per simulare la forma reale delle gocce; primi record da catene termometriche grotte Bossea.

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Obiettivi. Studio dell'invecchiamento di materiali esposti in campo e valutazione di prestazioni (agricoltura, asfalti); tecniche in applicazioni Smart, IoT in applicazioni tecnologiche e ambientali; automotive e studio dell'Appearance.

Attività svolta. Mappatura diffusa e studi su invecchiamento di materiali plastici per coperture di serre; valutazione delle influenze distribuzione spaziale coefficiente luminanza per applicazioni *smart city*; allestimento laboratorio mobile ANAS Coordinamento Progetto 16NRM02, rivestimento tunnel stradali, Accordo di collaborazione specifica con Dental School, Dipartimento di Scienze Chirurgiche

Risultati ottenuti. Prime applicazioni laboratorio mobile per verifiche rete stradale ANAS; Stakeholder meeting 16NRM02; caratterizzazione materiali in *Smart Lighting*; 4 pubblicazioni Open Acces; Membership di IEEE-P2020 (sistemi a guida autonoma) con diritto di voto. Siglata collaborazione con Panasonic e Nexco-Ri per implementazione dei risultati del progetto SURFACE in Giappone. Progetto di un nuovo sistema di misurazione in situ di proprietà ottiche di asfalti; è stato attuato e realizzato allestimento edilizio del laboratorio di Advanced Aesthetic, presso la Dental School (UniTo e delibera CdA INRiM)

Termometria applicata all'industria

Obiettivi. Collaborazione con partner industriali nazionali in progetti europei, nazionali e regionali.

Attività svolta. Progetto EMPIR 17IND12 Metrology for the Factory of the Future – Met4FoF. Progetto POR/FESR 2014-20 Reg. Piemonte – Industria 4.0 – HOME.

Risultati ottenuti. Nell'ambito del progetto EMPIR Metrology for the Factory of the Future è stato sviluppato un sistema di taratura di sensori di temperatura (anche di tipo MEMS) and una reference fixture adatta per l'impiego come riferimento metrologico in macchine di testing automatico (ATE) per MEMS. Nell'ambito del progetto POR/FESR 2014-20 Reg. Piemonte – Industria 4.0 – HOME è in corso lo sviluppo di un sistema per la validazione metrologica di uno o più laboratori energetici realizzati dai partner di progetto.

Ruolo NMI

Chimica e analisi statistica associata

Attività svolta. Sviluppo di template ed esempi di valutazione dell'incertezza e della conformità di prodotti da fornire a comitati tecnici normativi di competenza (EMPIR 17NRM05 EMUE). Chairmanship di IMEKO TC-8 "Traceability in metrology" e CITAC "Cooperation on International Traceability in analytical Chemistry". Segreteria di Eurachem. Contact person di GAWG – CCQM. Contact person di EURAMET TC-MC. Chair UNI/CT 016/GL 69 "App. metodi statistici". Partecipazioni: ISO/TC 69/SC 6/ WG 7 "Statistical methods [in] uncertainty evaluation", Eurachem/CITAC WG Measurement Uncertainty and Traceability. Contact person EMN MATHMET e EMN Climate. Attività di Technical Assessor per UKAS.

Risultati ottenuti. Valutazione conformità di un medicinale per JCGM WG1. Valutazione incertezza misure di piccole masse di benzo[a]pirene per laboratori AQUILA. Aggiornamento norme UNI da ISO/TC 69. Eurachem/CITAC Guide: Metrological Traceability in Analytical measurement, (2nd ed. 2019). ISBN: 978-

0-948926-34-1. Presentazioni a workshop e pubblicazione della newsletter annuale di Eurachem. Conclusione delle misure per il confronto internazionale CCQM-K74.2018, biossido di azoto urbano.

Termometria termodinamica per contatto

Attività svolta. Coordinamento del progetto EURAMET ATM 1459 “Air Temperature Metrology” e pilot lab del confronto inter-laboratorio di termometri aria tra -40 °C e 60 °C; Preparazione e circolazione del *reporting template*. *Plenary project meeting* progetto ATM, 9 aprile 2019

Risultati ottenuti. Selezione e raccolta dei sensori per il confronto interlaboratorio; Coordinamento e collaborazione alla stesura del protocollo di misura e dei *reporting time sheets Pilot loop 3* del confronto.

Meteorologia e climatologia

Attività svolta. Chair TG ENV EURAMET. Expert metrologist nel “Best practice group” del Global Cryosphere Watch WMO. Revisione guida N. 8 e Annex 1. A. Delegato nazionale al 18° World Congress del WMO. Delegato Aeronautica Militare nella Commission of Climatology WMO e Commission of Instruments and Methods of Observations IMO-WMO. Chair Long term and reference stations della Commission of Climatology. Task: developing reference observing networks for climate monitoring,

Risultati ottenuti. Svolgimento CCT WG-ENV round table Meeting. Avanzamento dei lavori per i draft dell'Annex 1.A della WMO guide on Instruments and Methods of Observations. Avanzamento workplan del WMO CIMO Task Team Overall Measurement Uncertainties (Merlone co-chair). Membership WMO Task Team Surface measurements. Preparazione del “tender specification for instruments on land”.

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Attività: svolgimento di confronti internazionali, nazionali e interlaboratorio, membership

Sviluppo previsto. Realizzazione di materiali di riferimento nell'ambito applicazioni IoT per interazione radiativa e taratura di sensori multicampo visibile - infrarosso

Risultati ottenuti. Realizzazione di kit di materiali di riferimento per la taratura di sistemi per la valutazione del coefficiente di luminanza sia portatili sia da laboratorio; avvio intercomparison europea su coefficiente di luminanza (EMPIR 16NRM02) per messa a disposizione di materiali di riferimento certificati (CRM); Membro con diritto di voto gruppo normativo IEEE P2020 Automotive Image Quality, Secretary del TC CIE 4-50, Road characterization (CIE 88 e interazione con CEN)

Termometria applicata all'industria

Obiettivi. Disseminazione dell'unità di temperatura termodinamica in ambito industriale. Studio di sistemi per la riferibilità nei processi di testing di componenti elettronici e sensori MEMS. Studio di metodi per la validazione metrologica di processi di immagazzinamento di energia termica.

Risultati ottenuti. Disseminazione dell'unità di temperatura termodinamica in ambito industriale. Tarature.

Terza missione

Chimica e analisi statistica associata

Attività svolta. Organizzazione e partecipazione a workshop, scuole ed eventi per la diffusione dei concetti metrologici e degli strumenti matematico/statistici utili per applicazioni chimiche ed ambientali.

Risultati ottenuti. Organizzazione dello Joint INRiM/itENBIS Workshop on “Mathematical and Statistical Methods for Metrology” con PoliTo, 30-31/5/2019, membro Organizing Committee Workshop su Conformity assessment in chemistry a Isranalytica 2019 Segreteria scientifica dell'International School of Physics “Enrico Fermi” 2019. Organizzazione di una sessione su “Ocean Metrology [...]” dell'IMEKO TC19 Workshop “Metrology for the sea”. Presentazioni sul nuovo SI e al world metrology day INRiM

Termometria termodinamica per contatto

Attività svolta. Contributi all'organizzazione del International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science TEMPMEKO 2019, in qualità di Scientific Secretary IMEKO TC12 Preparazione linee guida per la taratura di termometri in aria, in linea con CCT Strategy plan, mediante coordinamento del progetto EURAMET 1459.

Risultati ottenuti. Co-Chairmanship del International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science TEMPMEKO 2019, Chengdu, Cina, giugno 2019, 400 partecipanti.

Meteorologia e climatologia

Attività svolta. Organizzazione conferenza “3rd Metrology for Meteorology and Climate (MMC 2019)” Chengdu – Cina. Organizzazione del IV Arctic Metrology workshop, Oslo Novembre 2019, su finanziamento NYSMAC, con ISAC-CNR. Lavori per WMO CIMO expert Team “Metrology”, contributo WMO web based training course on calibration. Avvio due tesi di secondo livello (Politecnico di Torino – Merlone-Fernicola), e un tirocinio post diploma.

Risultati ottenuti. MMC 2019: 80 partecipanti, 5 sessioni orali e 3 sessioni poster. Organizzazione, del IV Arctic Metrology workshop ad Oslo, 7 Novembre 2019, con la Svalbard Science Conference. Stand, esperimenti e tavole rotonde su metrologia, meteo e clima a “Settimane della Scienza”

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Attività. Collaborazioni in corso con PoliTo e UniTo, univ. Bordeaux, Grenoble, La Rochelle, Te Aviv,

organizzazione eventi, docenze, beni culturali e materiali protesici

Risultati ottenuti. Workshop *Smart Lighting: "TooSmart, TooLight"*, Marzo 2019 con Polito e partner industriali. Avvio del laboratorio per studi materiali per Estetica protesica avanzata UniTo; studi su condizioni di geometria differenziale per la percezione; Presentazione ERC in colorimetria con Bordeaux, Grenoble, La Rochelle, Te Aviv e Unito; Corso Psicofisica della visione Unito e esperimenti percettivi campo indotto; 2° Stakeholder meeting 16NRM02 SURFACE Washington Giugno2019; Roundtable AutoSens Buxelles Sept 2019, manutenzione stradale e veicoli a guida autonoma.

Termometria applicata all'industria

Attività. Partecipazione al IEEE WORKSHOP ON Metrology for Industry 4.0 and IoT

Risultati ottenuti. Presentazione e pubblicazione articolo Metrology for Industry 4.0 and IoT

Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie

Responsabile: Davide Calonico

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2019

Ricercatori e Tecnologi: 35 Tecnici: 14

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 30. Associati e incarichi: 4

Articolazione delle attività

La Divisione sviluppa la scienza delle misure e le nanotecnologie con attenzione alle applicazioni quantistiche. In particolare la Divisione cura:

- la realizzazione e la disseminazione delle unità di misura del tempo e della frequenza, delle grandezze fotometriche e delle grandezze radiometriche, nonché di realizzare le unità di misura delle grandezze elettriche.
- la valorizzazione della mutua applicazione tra la metrologia e temi quali la fisica atomica e molecolare, la fotonica, l'elettronica quantistica, i dispositivi quantistici e le misurazioni quantistiche.
- l'applicazione delle tecniche di spettroscopia quantistica (con uso di fotoni, elettroni, neutroni) per la chimica fisica, la nanotecnologia, temi relativi alla salute come la metrologia alimentare e le bioapplicazioni.
- le tecnologie quantistiche emergenti in metrologia, sensoristica e informazione con particolare attenzione all'applicazione sul territorio a livello nazionale ed europeo su infrastrutture in fibra ottica e nello spazio
- le applicazioni spaziali delle tecniche metrologiche legate a tempo, frequenza e fotometria

A questo fine svolge e integra attività di ricerca teorica e sperimentale e attività di sviluppo tecnologico e conduce ricerche coordinate con l'industria mirando a raggiungere un livello di maturità tecnologica pari alla validazione in laboratorio. I settori di attività e le linee di sviluppo generali sono qui riassunti:

SETTORI	Descrizione
QN1: Chimica fisica e nanotecnologie (Andrea Mario Rossi)	Il settore ha l'obiettivo di sviluppare riferimenti e tecniche di misura per la chimica fisica, in particolare la caratterizzazione di contaminanti nel cibo e negli imballaggi alimentari, allo scopo di garantire la sicurezza alimentare per la tutela dei consumatori. L'attività prevede inoltre lo sviluppo e l'applicazione di metodi matematico-statistici per l'analisi delle misure chimiche e la creazione di banche dati da applicare alle metodologie di misura sviluppate a supporto della tracciabilità dei prodotti alimentari. Le competenze nanotecnologiche sono sviluppate sullo studio di nanoparticelle e loro impiego in applicazioni come gli imballaggi attivi.
QN2: Elettronica quantistica (Luca Callegaro)	Il settore si occupa della realizzazione delle unità elettriche ampere, ohm, henry, farad, e dei campioni quantistici di corrente continua e resistenza elettrica in regime continuo, e dei campioni nazionali di tensione elettrica in regime alternato, corrente elettrica in regime alternato, resistenza elettrica in regime alternato, capacità elettrica, induttanza elettrica, potenza elettrica, energia elettrica. Svolge attività di ricerca per la metrologia dell'effetto Hall quantistico e dell'elettronica singolare. Studia materiali e dispositivi basati sul grafene. Sviluppa dispositivi superconduttivi basati su giunzioni Josephson per la generazione, manipolazione e amplificazione di segnali a microonda fino al livello del singolo fotone.
QN3: Fotometria e radiometria (Giorgio Brida)	Il settore si occupa della realizzazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali: intensità luminosa, illuminamento, luminanza, temperatura di distribuzione, colore in trasmissione, potenza radiazione visibile, potenza

	radiazione in fibra ottica, sensibilità spettrale, trasmissione regolare e diffusa, riflessione regolare. Svolge ricerche per i fotorivelatori innovativi (fotorivelatori predicibili; fotorivelatori singolo fotone), dei materiali per la visione e della nanofabbricazione per la fotonica.
QN4: Ottica quantistica (Marco Genovese)	Il settore studia e sviluppa metodi di misurazione basati sulle proprietà degli stati ottici quantistici, in particolare delle correlazioni associate agli stati di entanglement. Promuove l'utilizzo di nuove tecniche di misurazione in grado di superare i limiti di rumore propri dei sistemi classici nell'ambito della metrologia, del sensing e dell'imaging.
QN5: Tempo e frequenza (Filippo Levi)	Il settore realizza le unità di tempo e frequenza, genera la scala di tempo nazionale UTC(IT), riferita al Tempo Universale Coordinato (UTC). Partecipa alla realizzazione del sistema Galileo, con un ruolo di primo piano nel timing. Svolge ricerche sugli orologi atomici, realizzando campioni a microonde e ottici con accuratezza tra le migliori nel panorama. Opera una infrastruttura di ricerca in fibra ottica (>1800 km), fornendo riferimenti primari a utenti scientifici ed industriali con accuratezza di 2×10^{-17} e per lo sviluppo di tecnologie quantistiche. Sviluppa con i maggiori enti metrologici europei per un'infrastruttura in fibra ottica europea. Svolge ricerche innovative in spettroscopia atomica molecolare e sulle trappole a ioni.

La Divisione è attiva sulle tre missioni dell'INRIM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede di Settore. Nel corso del 2019 la Divisione ha pubblicato 54 lavori su riviste internazionali (di cui 53 con Impact Factor), con una media di 1,46 pubblicazioni/ricercatore (a tempo indeterminato). Nel 2019, ha partecipato a 47 progetti finanziati di ricerca nazionali e internazionali, di cui 12 coordinati dalla Divisione, per cui in media 1,31 progetti attivi/ricercatore (a tempo indeterminato). I progetti finanziati da imprese sono 6, da enti pubblici nazionali 13, da enti internazionali 28. QN ospita l'unico ERC dell'INRiM (Plusone). In tutto, la quota di finanziamento per INRiM dei progetti ammonta a circa 15 M€, con una media per anno di 5,4M€. La durata media è di 35 mesi.

La Divisione ha creato e gestisce diverse infrastrutture a valenza nazionale e internazionale.

Nel corso del 2019, QN ha avviato lo European Metrology Networks (EMN) sulle Tecnologie Quantistiche, che coordina, e ha presentato un secondo EMN sulla metrologia alimentare, sempre come Coordinatore, al momento non approvato. Lo **EMN on Quantum Technologies**, coordinata da INRiM, si propone come punto di contatto tra la comunità metrologica e gli stakeholder delle emergenti Tecnologie Quantistiche, in grado di fornire i riferimenti metrologici a quest'area di ricerca fortemente valorizzata dalla *FET- Flagship on Quantum Technologies* della Commissione Europea. La Divisione è inoltre coinvolta in diversi progetti che si basano sullo sviluppo di aspetti diversi delle tecnologie quantistiche, sui pilastri di Quantum Sensing, Quantum Communication e Quantum Metrology.

QN coordina il progetto finanziato dalla Regione Piemonte **PIQuET, Piemonte Quantum Enabling Technologies**, che si candida come Infrastruttura dell'INRiM in quest'ambito, con un investimento iniziale di oltre 6 M€ e la partecipazione di Politecnico di Torino e Università di Torino. L'obiettivo è di creare sinergie tra le Divisioni dell'INRiM coinvolte con la micro e nanofabbricazione e le tecnologie quantistiche, per concentrare risorse di apparecchiature e risorse umane e promuovere l'eccellenza di ricerca e il trasferimento tecnologico in questi ambiti. Nel 2019, il progetto è entrato nella sua seconda metà e sono stati completati gli acquisti previsti, in particolare quello di una camera pulita di 500 m² alla cui progettazione hanno concorso soprattutto le divisioni di Metrologia Quantistica e di Materiali Avanzati.

QN partecipa al progetto di nuova infrastruttura di ricerca Europea **METROFOOD-RI** – Research Infrastructure for Promoting Metrology in Food and Nutrition (ESFRI Roadmap 2018 – Domain Health and Food), che è stato valutato “emerging” per la sua eccellenza scientifica nel dominio “Health & Food”. Il progetto, coordinato dall'Italia (Enea), vede la partecipazione di 31 Partner di 15 diversi Paesi. Nel 2019, INRiM ha sviluppato per Metrofood-RI metodi basati sull'Analisi per Attivazione Neutronica che hanno permesso di partecipare alla

caratterizzazione di due materiali di riferimento costituiti da ostriche, il primo, e da riso, il secondo, determinando la concentrazione di elementi tossici e composti nutritivi quali Arsenico, Cromo, Nichel, Selenio, Zinco.

In QN si colloca il Coordinamento del progetto finanziato dalla Regione Piemonte **IMPreSA, Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare**, che si candida come Infrastruttura dell'INRiM in quest'ambito, con un investimento iniziale di oltre 2 M€ e la partecipazione di Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte, Liguria e Valle D'Aosta, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante del CNR, Istituto Scienze delle Produzioni Alimentari del CNR, CREA, ENO con l'obiettivo di sviluppare materiali innovativi per l'imballaggio alimentare garantendo il rispetto delle normative internazionali e proponendo di essere di supporto alle aziende. Nel 2019, il progetto è entrato nella sua seconda metà e sono stati completati gli acquisti previsti, mentre è continuata l'attività di allestimento dei Laboratori.

Il contributo di INRiM allo sviluppo del progetto strutturale Europeo di Navigazione satellitare **Galileo** ha costituito anche nel 2019 un'attività caratterizzante, con il contributo specifico per gli aspetti di tempo e frequenza alla costruzione di un **Time Service Provider** europeo basato sul sistema Galileo stesso. La collaborazione qui è stata soprattutto con l'Agenzia Spaziale Europea e Italiana, con la Galileo System Authority della Commissione Europea e con l'aziandaprime europea del progetto, SpaceOpal.

Un'altra infrastruttura di dimensione nazionale ed europea è il Link ottico di Tempo e Frequenza/Italian Quantum Backbone (LIFT/IQB), una dorsale in fibra ottica su cui l'INRiM distribuisce segnali campione di Tempo e Frequenza e sperimenta le emergenti tecnologie quantistiche, in particolare nell'informazione. Nel 2019 tutti i 1850 km sono diventati operativi, collegando INRiM agli NMI di Francia, Germania e UK (frequenza), sia i diversi istituti italiani di CNR, INAF, ASI e alcune tra le più importanti compagnie aerospaziali. Nel 2019 sono stati pubblicati i primi lavori sulla distribuzione di QKD ed entanglement.

Ricerca e Sviluppo

Per quanto riguarda le attività relative alla **Chimica Fisica e alle Nanotecnologie**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2019 sono i seguenti.

- Nell'analisi dinamica della suscettibilità e della resistenza dei microrganismi ad antibiotici, oltre che nella valutazione delle proprietà antibatteriche di superfici micro/nano-strutturate sono stati migliorati i tempi di misura attraverso l'uso della tecnica Raman rispetto a tecniche microbiologiche tradizionali per gli studi di suscettibilità batteri-antibiotici. Lo studio è pubblicato sulla rivista internazionale *Sensors and Actuators B*.
- Sviluppo di nuove tecniche di misura a supporto dell'analisi degli alimenti basate su Spettroscopia Raman, che ha portato a 3 pubblicazioni su riviste internazionali su *Food Chemistry, Analytical and Bioanalytical chemistry*, e *Analytical Chemistry*.
- Nel settore dei materiali nanostrutturati per migliorare le tecniche spettroscopiche e la produzione di packaging antibatterico, sfruttando l'interazione selettiva fra le nanoparticelle di argento e le specie contenenti zolfo è stato possibile aumentare la sensibilità dell'indagine Raman, rendendola adatta a determinare la concentrazione della SO₂ intorno ai limiti di legge. I risultati sono pubblicati in 3 articoli sulle riviste internazionali *Food and Chemical Toxicology, Free Radical Biology and Medicine* e *Biosensors*

Sulle tematiche della **Elettronica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2019 sono i seguenti.

- La caratterizzazione di dispositivi in grafene per applicazioni di metrologia elettrica, con una collaborazione stretta con il NIST statunitense, che ha portato migliorare la caratterizzazioni di questi dispositivi per l'effetto Hall quantistico, come descritto in 5 pubblicazioni sulle riviste internazionali *Scientific Reports, Meas. Sci. Tech., Metrologia, IEEE Trans. El. Dev.* e *Carbon*.
- Nell'ambito nuovo Sistema Internazionale delle Unità di Misura, nel 2019 è continuata un'estesa sperimentazione per il farad, la potenza elettrica, la qualità della potenza e lo sfasamento tra fasori isofrequenziali, basati sull'uso e la riferibilità dei campioni elettrici quantistici, confrontandosi con i campioni nazionali realizzati e in Divisione.
- Nel campo della manipolazione di singoli fotoni nella regione delle microonde, nel 2019 è continuata la

caratterizzazione criogenica dei parametri costruttivi dei dispositivi realizzati e della componentistica attualmente presente in Istituto nell'intervallo 1 - 20 GHz. Sono state analizzate tutte le sinergie con le attività a microonda presenti nella Divisione, su tre settori (QN02, QN03, QN05) e si procederà ad allestire una "piattaforma microonde" comune per l'anno successivo.

Sulle tematiche della **Fotometria e Radiometria** i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2019 sono i seguenti.

- Nello studio sui rivelatori SPAD, l'allestimento del setup di taratura di Si SPAD ha permesso una migliore accuratezza nella misura dell'efficienza; la caratterizzazione elettrica di film superconduttivi e dispositivi TES ha prodotto film e dispositivi con temperature di transizione tra 100 mK e 42 mK, e spessori inferiori ai 40nm, fondamentali per ridurre la capacità termica dei rivelatori.
- Nuove misure ellissometriche su deposizioni film sottili per lo studio dei fotorivelatori predicibili (PQED), migliorando la minimizzazione delle perdite superficiali.

Sulle tematiche della **Ottica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2019 sono i seguenti, documentati in 7 pubblicazioni su riviste internazionali ISI:

- Nello sviluppo di nuovi metodi di misura utilizzando, si è concluso uno studio sulle misure deboli, in particolare realizzando il primo esperimento di misura di weak values medi su singolo stato. Si è studiata la ricostruzione della matrice pseudo-densità introdotta da V.Vedral. Sono stati pubblicati gli studi pilota verso un confronto internazionale sulle misure di g_2 con sorgenti a singolo fotone impulsate e continue in visibile e telecom; si è inoltre effettuato uno studio pilota verso un confronto internazionale sulle misure di efficienza quantica di rivelatori a singolo fotone a 1550nm.
- Lo studio, pubblicato su rivista internazionale, sulla realizzazione di ghost imaging differenziale ottimizzato, insieme all'applicazione di stati coerenti di SU(1,1) all'interferometria.
- Nell'area delle sorgenti a singolo fotone, sono stati ottenuti i primi risultati su dispositivi a difetti di Piombo in diamante

Sulle tematiche di **Tempo e Frequenza**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2019 sono i seguenti.

- Nell'area campioni atomici di frequenza, è stato completato lo studio sul trasferimento del rumore di ampiezza del laser all'orologio compatto POP; è stata aumentata l'accuratezza dell'orologio ottico all'itterbio IT-Yb1, ora $3e-17$, e la sua frequenza è stata misurata i) con una catena metrologica tracciabile a TAI con un'incertezza di $2.6e-16$ ii) rispetto al campione ottico allo Stronzio del NICT (Giappone) con una tecnica innovativa di VLBI radioastronomico. Nel nuovo campione ottico allo Stronzio dell'INRiM è stata realizzata una nuova tecnica di raffreddamento e intrappolamento laser.
- Nel settore degli atomi, ioni e molecole fredde, è stata migliorata la precisione nella misura di transizioni vibrazionali, raggiungendo il limite dato dal tempo di interazione. È stato attivato l'esperimento per l'intrappolamento di ioni di Bario.
- Nell'area della disseminazione in fibra ottica, è proseguito l'allestimento dei sistemi di disseminazione accurata di tempo verso il sistema Galileo al Fucino. Sono stati completati i primi esperimenti di geodesia VLBI con ASI e INAF. Sono stati pubblicati tre studi sulla QKD e l'entanglement in fibra ottica. È stata avviato un esperimento per la distribuzione di chiavi quantistiche avanzate sfruttando le tecniche interferometriche utilizzate per la disseminazione di frequenza.

Ricerca istituzionale (ruolo NMI)

La Divisione mantiene e sviluppa 13 Campioni Nazionali di cui al D.M. 591/1993 e altri 8 Campioni Primari. Nel 2019 sono risultati attivi 16 confronti di misura internazionali e sono stati emessi ca 287 certificati di taratura e prova, distribuiti nelle aree elettriche, fotometriche e di tempo/frequenza.

Per quanto riguarda la **Chimica Fisica e Nanotecnologie**, si segnalano due confronti interlaboratorio per la metrologia Raman confocale dedicata alla misura del volume confocale e della calibrazione in frequenza, con cura particolare per ottenere una maggiore riproducibilità delle punte TERS. Inoltre, nel 2019 sono stati sviluppati metodi di Analisi per Attivazione Neutronica con il metodo assoluto "k0" il quale permette una misura

di concentrazione senza l'utilizzo di standard certificati di riferimento. Sono state svolte attività di mantenimento e miglioramento delle procedure a sostegno delle 7 CMC riguardanti la quantificazione di sostanza.

Per quanto riguarda la **Elettronica Quantistica**, si segnala l'attività sui nuovi ponti di impedenza digitali per la taratura di campioni materiali di capacità e di induttanza a partire dal campione di resistenza elettrica in regime alternato; la sperimentazione di metodi di taratura di amplificatori sincroni (lock-in) per tensioni inferiori a 100 uV. Il Settore ha partecipato al confronto chiave internazionale in ambito CCEM attualmente in fase di definizione. Inoltre, nel 2019 si è svolta la peer review visit all'INRiM nel quadro del Progetto EURAMET 1123 "On site peer review CEM, INRiM and IPQ".

Per quanto riguarda la **Fotometria e Radiometria**, si segnala lo svolgimento di un confronto pilota per la taratura di fotorivelatori a singolo fotone; del confronto EURAMET PR-S4 (comparison on UVA power meters); del confronto EURAMET PR-K6, (comparison on neutral density filter transmittance).

Per quanto riguarda la **Ottica Quantistica**, si segnala il proseguimento della collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di uno standard europeo per la crittografia quantistica.

Per quanto riguarda la metrologia **Tempo e Frequenza**, si hanno 12 confronti chiave internazionali, e si segnala la realizzazione di due scale di tempo completamente indipendenti per ottenere una completa ridondanza hardware e software, agganciate in fase con uno scarto massimo di 200 ps. È stata condotta una estesa sperimentazione per la realizzazione in tempo reale della scala di tempo mediante algoritmo di steering completamente automatizzato. Inoltre, per la prima volta, INRiM ha usato il campione ottico all'Iterbio per tarare 5 volte il Tempo Atomico Internazionale (TAI)

Campioni nazionali mantenuti dalla Divisione (DM 591/1993)	
QN2	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica
QN2	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica in regime alternato sinusoidale
QN2	Campione nazionale di potenza elettrica
QN2	Campione nazionale di potenza elettrica per radiofrequenza e microonde
QN2	Campione nazionale di attenuazione di potenza
QN2	Campione nazionale di energia elettrica
QN2	Campione nazionale di tensione elettrica in regime alternato sinusoidale
QN2	Campione nazionale di capacità elettrica
QN2	Campione nazionale di induttanza
QN3	Campione nazionale di intensità luminosa
QN5	Campione ottico di frequenza a Iterbio ultrafreddo
QN5	Campione primario di frequenza a fontana di cesio
QN5	Scala nazionale di tempo UTC(IT)

Altri campioni	
QN1	Campione di conducibilità elettrolitica
QN2	Campione quantistico di tensione elettrica per effetto Josephson
QN2	Campione quantistico di resistenza per effetto Hall quantistico
QN2	Campione di rapporto di tensione in regime alternato sinusoidale
QN3	Potenza radiazione in fibra ottica
QN3	Sensibilità spettrale
QN3	Luminanza
QN3	Trasmissione regolare
QN3	Trasmissione diffusa
QN3	Riflessione regolare

Terza Missione

Per quanto riguarda le attività di **Knowledge Transfer**, nel 2019 è stata organizzata all'INRiM la conferenza internazionale The Methods of Control - The Control of Methods from the Technique to the Norm: Oil as a Model System, (24-25 Gennaio 2019) che ha visto la partecipazione di oltre cento persone tra aziende, enti di ricerca e università. Nella cornice del progetto 16NRM01 GRACE (-2020): sono state sottomesse le Draft Technical Specifications per la caratterizzazione elettrica del grafene al Technical Committee IEC TC/113.

Membership di CEI TC/113. Nel Progetto 17RPT04 VersICaL (2018-2021): creazione di virtual lab per la metrologia dell'impedenza elettrica e training di Istituti Metrologici Primari europei.

Nel 2019, il Settore di Elettronica Quantistica ha emesso 120 certificati verso centri di taratura, 50 certificati/anno verso l'INRiM; il Settore di Fotometria e Radiometria ha emesso 14 certificati; il Settore di Tempo e Frequenza ha emesso 153 certificati di taratura per attività conto terzi.

Il laboratorio Demetra (Tempo e Frequenza) fornisce servizi di timing certificato in fibra ottica per utenti industriali, e.g. Intesa San Paolo per la certificazione delle operazioni finanziarie (normativa europea MIFiDII).

Il Settore Tempo e Frequenza ha continuato nel 2019 il trasferimento tecnologico a favore di Leonardo SpA per la produzione di orologi compatti a microonda; è stato avviato il progetto SYNERGIA, di trasferimento tecnologico verso il METAS (svizzera) per la realizzazione di un link ottico di frequenza tra Basilea, Berna e Zurigo. Sono proseguite le attività contrattuali legate al programma Galileo, in particolare quelle legate al Time Service Provider che vedono l'INRiM come partner dell'azienda SpaceOpal nella generazione e nel monitoraggio della scala di tempo di Galileo.

L'attività di **formazione** nel 2019 è stata in piena continuità, con l'erogazione di corsi universitari e di dottorato, l'attività di tutoraggio di tesi di laurea e di dottorato, l'attività nei collegi docenti dei dottorati sia di Metrologia che in altri del Politecnico e dell'Università di Torino. Nell'ambito dei progetti EMPIR, sono stati ospitati tre ricercatori, dal PTB, e dagli istituti metrologici della Bosnia Herzegovina e del Montenegro.

Settore QN1 - Chimica fisica e nanotecnologie
Responsabile: Andrea Mario Rossi

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione coordinamento &	Totale
Personale TI					
Luigi Bergamaschi	0,50	0,40	0,10		1
Francesca Durbiano	0,20	0,30	0,30	0,20	1
Andrea Mario Giovannozzi	0,60	0,10	0,10	0,20	1
Chiara Portesi	0,60	0,10	0,10	0,20	1
Andrea Mario Rossi	0,10	0,20	0,20	0,50	1
Matteo Berruto	0,20	0,20		0,20	0,60
Assegni ricerca					
Luisa Mandrile	0,80	0,20			1
<i>Totale</i>	<i>3</i>	<i>1,50</i>	<i>0,80</i>	<i>1,30</i>	<i>6,60</i>
Personale in formazione					
Giulia Barzan	0,80	0,20			1
Iris Cagnasso	0,80	0,20			1
Alessio Sacco	0,70	0,30			1
Personale associato					
Gianmario Martra	0,10				0,10
Totale	5,40	2,20	0,80	1,30	9,70

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Metrologia per l'analisi di microrganismi e di superfici antibatteriche</p> <p><i>Obiettivo.</i> Analisi dinamica della suscettibilità e della resistenza dei microrganismi ad antibiotici; valutazione delle proprietà antibatteriche di superfici micro/nano-strutturate.</p> <p><i>Attività svolta.</i> Nell'ambito del progetto METvsBadBugs, conclusosi a giugno 2019, ci si è occupati della caratterizzazione mediante spettroscopia Raman di diverse classi di antibiotici e di specie batteriche per la creazione di un data base spettrale. Si sono effettuate misure dinamiche mediante un dispositivo microfluidico che accoppia la spettroscopia Raman e la dielettroforesi per la valutazione della suscettibilità batterica a varie classi di biocidi e allo studio dell'antibiotico resistenza per effetti di tolleranza cross-indotta dall'utilizzo di biocidi d'uso cosmetico.</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Miglioramento dei tempi di misura attraverso uso della tecnica Raman rispetto alle tecniche microbiologiche tradizionali per gli studi di suscettibilità batteri-antibiotici. Una pubblicazione su rivista internazionale (Sensors and Actuators B). Best Poster Award al CCQM Workshop on Advances in Metrology in Chemistry and Biology 9-10 April, 2019, Sèvres, France.</p>
<p>Metrologia per la sicurezza e la salute alimentare</p> <p><i>Obiettivo.</i> Sviluppo di nuove tecniche di misura a supporto dell'analisi degli alimenti.</p> <p><i>Attività svolta.</i> Abbiamo proseguito l'attività di rivelazione e quantificazione di contaminanti nell'ambito agroalimentare sia dovuti a residui di trattamenti agronomici sia come additivi intenzionalmente aggiunti come le nanoparticelle di biossido di titanio delle quali ci siamo occupati della quantificazione della loro citossicità e genotossicità.</p> <p>Tramite spettroscopia Raman sono stati studiati i NIAS (Non-Intentionally Added Substances) in granuli di Low Density PolyEthylene destinati alla fabbricazione di imballaggi alimentari.</p> <p>Tramite spettroscopia Raman e di fluorescenza è iniziato uno studio sull'invecchiamento degli oli EVO in funzione delle condizioni di imballaggio.</p>

E' stato effettuato uno studio basato su misure di fluorescenza e di spettrofotometria e utilizzando la teoria quantistica microscopica Density Functional Theory degli stati di dissociazione acida dell'ocratossina in funzione del pH e dei suoi processi di degradazione. Lo studio è stato portato avanti in collaborazione con UniTO. Successivamente è stato intrapreso uno studio per la determinazione dell'ocratossina in matrici modello utilizzando la tecnica SERS (Surface-enhanced Raman spectroscopy).

E' stato affrontato lo studio della quantificazione dell'anidride solforosa in campioni di vino bianco e rosso utilizzando la tecnica SERS. Inoltre è stato fatto un confronto con la tecnica di determinazione della SO₂ ufficiale, basata su un sistema di separazione dei componenti del vino e una titolazione acido-base.

Risultati ottenuti. 3 pubblicazioni su riviste internazionali (Food Chemistry, Analytical and Bioanalytical chemistry, Analytical Chemistry).

Nanotecnologie per la metrologia alimentare

Obiettivo. Produzione e utilizzo di materiali nanostrutturati per aumentare la sensibilità delle tecniche spettroscopiche e per la produzione di packaging antibatterico.

Attività svolta. Tramite tecniche di sintesi chimica si sono prodotte nanoparticelle e substrati flessibili nanostrutturati a base metallica (Au e Ag) per sfruttare il fenomeno dei plasmoni di superficie per aumentare la sensibilità delle spettroscopie vibrazionali rispetto ad alcuni contaminanti chimici. In particolare, sono stati studiati due sistemi applicativi per la quantificazione di fungicidi (ditiocarbammati) su frutta, sia mediante rilevazione in situ sulla superficie del frutto, sia mediante quantificazione totale a seguito di procedura d'estrazione.

Mediante lo studio della minima concentrazione inibitoria/battericida (MIC/MBC) ed utilizzo della procedura ISO21996, sono state misurate le proprietà antibatteriche di nanoparticelle d'argento di differenti dimensioni, sia in sospensione sia ancorate su superficie, al fine di comparare i diversi effetti antibatterici e determinare il sistema antibatterico più efficiente. Mediante le stesse metodiche si sta iniziando uno studio simile su nanoparticelle di carbonio ottenute per sintesi idrotermica da glucosio per studiare materiali innovativi antibatterici a più bassa tossicità ed impatto ambientale.

Sfruttando l'interazione selettiva fra le nanoparticelle di argento e le specie contenenti zolfo è stato possibile avere un aumento del segnale Raman che ha permesso di rendere questa tecnica sensibile e adatta per determinare la concentrazione della SO₂ intorno ai limiti di legge. I risultati ottenuti con il metodo SERS sono stati confrontati con quelli ottenuti con il metodo ufficiale OIV (OIV-MA-AS323-04A)

Risultati ottenuti. 3 pubblicazioni su riviste internazionali (Food and Chemical Toxicology; Free Radical Biology and Medicine; Biosensors)

Ruolo NMI

Metrologia applicata alla spettroscopia Raman

Obiettivo. Sviluppo del sistema "Tip Enhanced Raman Spectroscopy" (TERS).

Attività svolta. Il programma è coinvolto in due confronti interlaboratorio nell'ambito della metrologia Raman confocale dedicata alla misura del volume confocale e della calibrazione in frequenza.

Si e' lavorato per ottenere una maggiore riproducibilità delle punte TERS e sono stati risolti alcuni problemi di riproducibilità delle misure. Si e' avviata l'attività per la quantificazione dell'enhancement factor.

Risultati ottenuti. 1 pubblicazione scientifica (Journal of physical chemistry C). Partecipazione al confronto VAMAS Raman metrology sulla taratura in frequenza. Confronto VAMAS (Raman su volume confocale)

Infrastruttura Europea Metrofood

Obiettivo. Sviluppo e consolidamento della nuova infrastruttura di ricerca pan-Europea (METROFOOD-RI), guidata da ENEA.

Attività svolta. INRiM fa parte del progetto della nuova infrastruttura di ricerca pan-Europea METROFOOD-RI Infrastructure for Promoting Metrology in Food and Nutrition (ESFRI Roadmap 2018 – Domain Health and Food), che è stato valutato "emerging" per la sua eccellenza scientifica nel dominio "Health & Food". Il progetto, coordinato dall'Italia, è attualmente supportato da Portogallo, Romania, Austria, Spagna, Grecia, Francia, Repubblica Ceca, Turchia, Moldavia, Macedonia, Slovenia e vede la partecipazione di 31 Partner di 15 diversi Paesi. Nell'ambito del progetto Metrofood-RI, sono stati sviluppati ed applicati metodi basati sull'AAN (Analisi per Attivazione Neutronica) che hanno permesso all'INRiM di partecipare alla caratterizzazione di due materiali di riferimento costituiti da ostriche, il primo materiale di riferimento, e da riso, il secondo materiale di riferimento.

<p><i>Risultati ottenuti.</i> Mediante AAN e' stata determinata la concentrazione di elementi tossici e composti nutritivi quali Arsenico, Cromo, Nichel, Selenio, Zinco in campioni di ostriche e riso. Con questo metodo analitico e' stato eseguito lo studio di omogeneità dei campioni candidati a diventare materiali di riferimento.</p>	
<p>Metrologia per l'analisi per attivazione neutronica <i>Obiettivo.</i> Sviluppo di tecniche di analisi per la quantificazione di elementi maggiori ed in tracce. <i>Attività svolta.</i> Sono stati sviluppati metodi di Analisi per Attivazione Neutronica (AAN) con il metodo assoluto "k0" il quale permette una misura di concentrazione senza l'utilizzo di standard certificati di riferimento. Sempre mediante AAN sono state eseguite misure per la quantificazione di elementi maggiori ed in tracce, per proseguire le analisi di caratterizzazione e discriminazione di farine alimentari. Inoltre si è iniziata un attività di analisi su sale rosa himalayano e altri sali con diverse provenienze per verificare la presenza di elementi dannosi per la salute umana sia per la discriminazione da eventuali prodotti contraffatti. Come previsto dal Sistema Qualità INRiM sono state svolte attività di mantenimento e miglioramento delle procedure a sostegno delle CMC (attualmente 7) riguardanti la quantificazione di sostanza. Sono stati sviluppati metodi analitici per la partecipazione a confronti internazionali in ambito CCQM. <i>Risultati ottenuti.</i> Pubblicazione su rivista del lavoro "Final report on APMP.QM-S10: elements in food supplement" Metrologia, Volume 56, Number 1A</p>	
<p>Membership organismi metrologici I ricercatori afferenti al programma rappresentano INRiM nei principali gruppi di lavoro del CCQM (BIPM) quali l'analisi organica, le proteine, l'analisi inorganica, acidi nucleici e l'analisi di superficie. In particolare, si è partecipato al SCBOA (Bio and Organic Analysis Sub-Committee Group Meeting) del TC-MC di EURAMET e al CCQM-OAWG (CCQM Working Group on Organic Analysis). SCIA (Inorganic Analysis Sub-Committee Group Meeting) del TC-MC di EURAMET e al CCQM-IAWG (CCQM Working Group on Inorganic Analysis)</p>	
<p>Terza missione</p>	
<p>Disseminazione a livello nazionale ed internazionale dell'attività <i>Attività svolta.</i> Il programma ha iniziato l'attività per costituire un European Metrology Network on Food Safety – EMN-FS. L'attività con la presentazione in vari sedi europee, NMI e presso possibili stakeholder, il progetto EMN-FS. Organizzazione in INRiM dell conferenza internazionale The Methods of Control - The Control of Methods from the Technique to the Norm: Oil as a Model System, 24-25 Gennaio 2019 cha ha visto la partecipazione di oltre cento persone tra aziende, enti di ricerca e universita'. Didattica universitaria e formazione Corso di Dottorato in metrologia 1QTARU Advanced spectroscopic methods: metrological aspects and applications to nanomaterials (20 ore).</p>	

Settore QN2 - Elettronica quantistica
Responsabile: Luca Callegaro

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Luca Callegaro	0,40	0,30	0,10	0,20	1
Cristina Cassiagio	0,40	0,60			1
Emanuele Enrico	1				1
Luca Oberto	0,90	0,10			1
Bruno Trincherà	0,50	0,40	0,10		1
Vincenzo D'Elia	0,40	0,40	0,20		1
Enrico Gasparotto	0,40	0,40	0,20		1
Danilo Serazio	0,30	0,30	0,30	0,10	1
Assegni ricerca					
Alessandro Cultrera	0,90		0,10		1
Martina Marzano (dal 2019.11)	0,20				0,20
<i>Totale</i>	<i>5,40</i>	<i>2,50</i>	<i>1</i>	<i>0,30</i>	<i>9,20</i>
Personale in formazione					
Angelo Greco	1				1
Luca Fasolo (dal 2019.11)	0,20				0,20
Martina Marzano (al 2019.10)	0,80				0,80
Tran Ngoc Thanh Mai	1				1
Mattia Mancuso		0,20			0,20
Personale associato					
Massimo Ortolano	0,20				0,20
Totale	8,60	2,70	1	0,30	12,60

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Caratterizzazione di dispositivi e sistemi <i>Obiettivi.</i> a) Progetto 16NRM01 GRACE (-2020) di caratterizzazione elettrica di dispositivi in grafene. b) collaborazione con NIST: modellizzazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi e circuiti integrati per effetto Hall quantistico in grafene per sistemi di misura innovativi. c) caratterizzazione di materiali micro e nanostrutturati e di dispositivi elettronici quantistici in temperatura e campo magnetico. <i>Attività svolta.</i> a) Estensione del metodo di imaging basato su Electrical Impedance Tomography a dispositivi in grafene epitassiali e con gating. Misure di excess noise in dispositivi di grafene. b) Modellazione di circuiti integrati in grafene per applicazioni dc e ac. Realizzazione di un ponte di Kelvin quantistico per la taratura di campioni di resistenza con incertezza di 1E-8. Secondment NIST (6 mesi) di una studentessa di dottorato. c) Determinazione della corretta procedura di misura con simulazioni fisiche. <i>Risultati ottenuti.</i> a) 1 Scientific Reports (<i>Highlight</i>); 1 Meas. Sci. Tech. b) 2 Metrologia (<i>Highlight</i>), 1, IEEE Trans. El. Dev., 1 Carbon.</p>
<p>Realizzazione quantistica del farad nel nuovo SI <i>Obiettivi.</i> Progetto 18SIB07 GIQS: sperimentazione di dispositivi per effetto Hall quantistico, in GaAs e grafene, per la realizzazione pratica del farad nel nuovo SI, con l'impiego di ponti di impedenza digitali. <i>Attività svolta.</i> Realizzazione di un ponte completamente digitale per confronti ohm-farad. Realizzazione discendente in ac e primi esperimenti QHE con campioni GaAs. Secondment KRISS (4 mesi) studente di</p>

dottorato.

Risultati ottenuti. Confronto con campione nazionale in accordo entro qualche parte in 10-7. Proceedings di conferenze.

Manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde

Obiettivi. Nell'ambito del progetto EMPIR (17FUN10) Parawave verranno modellizzati e realizzati dispositivi per la manipolazione di singoli fotoni a microonda e verrà implementata presso INRiM una piattaforma criogenica per la caratterizzazione a microonda di amplificatori a banda larga (cosiddetti a travelling-wave o TWJPA) ed a banda stretta (risuonatori) basati sull'effetto Josephson. b) Progetto INFN SIMP, (collab. QN05 INFN TIPFA/FBK), fattibilità setup per caratterizzazione di rivelatori di singolo fotone alle microonde; inizio attività 2020.

Attività svolta. a) Caratterizzazione criogenica dei parametri costruttivi dei dispositivi realizzati in INRiM e volti all'amplificazione parametrica di segnali a microonde e caratterizzazione della componentistica attualmente presente in Istituto nel range 1 - 20 GHz. Modellizzazione quantistica del comportamento di metamateriali Josephson in regime di multi-wave mixing.

Risultati ottenuti. a) Fornitura di TWJPA ai partner di 17FUN10. Capitolo di monografia.

Elettronica singolare per la realizzazione pratica dell'ampere

Obiettivi. Dispositivi mesoscopici e setup di misura criogenico per la manipolazione e la rilevazione di cariche elettriche elementari.

Attività svolta. a) Realizzazione e caratterizzazione di pompe di singolo elettrone per la metrologia delle basse correnti e validazione del setup criogenico di misura per pilotaggio in frequenza dei parametri di controllo di SET (SETpumps e SQUISSETs). b) Modellizzazione degli effetti di conduttanza variabile in giunzioni tunnel integrate in strutture formate da catene di SQUIPTs e studio delle relative ricadute nel campo della sensoristica di campo magnetico e performance di pompaggio di cariche elementari (SQUISSETs)

Risultati ottenuti. a) Validazione criogenica del design. b) Tesi di laurea magistrale; pubblicazione in preparazione.

Potenza ed energia elettrica nel nuovo SI

Obiettivi. Partendo dai risultati di 15RPT04 TracePQM, si svilupperanno metodi a campionamento simultaneo di profili d'onda arbitrari, riferiti ai campioni elettrici quantistici, per la misura della potenza elettrica, di parametri della qualità della potenza e lo sfasamento tra fasori isofrequenziali. Incertezza obiettivo: $<20 \mu\text{W/VA}$ il cui contributo dei digitalizzatori sia $<2 \mu\text{W/VA}$.

Attività svolta. Conclusione del progetto TracePQM con validazione del macro set-up sviluppato per le basse frequenze per confronto diretto col campione nazionale.

Risultati ottenuti. "Guide for Sampling Power and Power quality Measurements", pubblicazione online open source sul sito TracePQM.

Ruolo NMI

Unità e scale di impedenza elettrica

Attività svolta. Sperimentazione di nuovi ponti di impedenza digitali per la taratura di campioni materiali di capacità e di induttanza a partire dal campione di resistenza elettrica in regime alternato, nell'ambito del progetto 17RPT04 VersICaL e in preparazione ai confronti EURAMET.EM-K3 (10 mH, 1 kHz) e EURAMET.EM-K4 (10-100 pF, 1592 Hz).

Risultati ottenuti. Realizzazione di un ponte digitale per il confronto di impedenze a quattro coppie di terminali completamente automatico e accessibile da remoto. Consolidamento del metodo di build-up per la realizzazione di scale di capacità elettrica.

Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala

Attività svolta. Sperimentazione di metodi di taratura di amplificatori sincroni (lock-in) per tensioni inferiori a 100 μV , nell'ambito del progetto EURAMET #1466 Calibration of lock-in amplifiers. b) Confronto di metodi di generazione di piccole correnti (carica di capacità e ultrastabile low-noise current amplifier, ULCA). Estensione delle capacità di generazione di corrente nel range 1 nA - 1 μA .

Risultati ottenuti. a) Taratura di amplificatori lock-in per misure di tensioni nel campo 1 μV - 100 μV e frequenze da 10 a 100 Hz. Preparazione al confronto EURAMET #1466. b) Riferibilità per la generazione

<p>di correnti continue al campione di resistenza, con comparatore di correnti criogenico.</p> <p>Metrologia per RF&MW <i>Attività svolta.</i> a) Realizzazione del campione di Parametri di Scattering. b) Partecipazione a confronto chiave internazionale di confronto in ambito CCEM attualmente in fase di definizione. Verifica ed eventuale aggiornamento delle CMC INRiM. <i>Risultati ottenuti.</i> a) Modifica schema di riferibilità, e revisione procedure campione e disseminazione parametri di scattering. b) Confronto sospeso. c) Verifica completata, aggiornamento nel 2020.</p> <p>Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato <i>Attività svolta.</i> Nuove procedure di qualità relative a corrente in regime alternato. Revisione delle procedure relative alla potenza ed energia elettrica. Revisione delle CMC INRiM. Preparazione al confronto EURAMET.EM-K5 "Key comparison of 50/60 Hz electric power". <i>Risultati ottenuti.</i> Consolidamento del campione nazionale di corrente elettrica in regime alternato e di potenza ed energia elettrica. Riduzione delle incertezze associate, ampliamento dei campi di misura. Proposta nuove CMC nel run EURAMET.EM.16.2019 in corso di approvazione.</p> <p>Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico <i>Attività svolta.</i> Revisione procedure qualità <i>Risultati ottenuti.</i> Certificazione verso i campioni nazionali INRiM di resistenza e capacità.</p> <p>Metrologia delle forti correnti <i>Attività svolta.</i> Estensione della capacità di taratura di DCCT. <i>Risultati ottenuti.</i> Sottomissione final report Confronto EURAMET.EM-S35 a CCEM</p> <p>Struttura di riferibilità delle unità elettromagnetiche <i>Attività svolta.</i> Realizzazione pratica, nel nuovo SI, dell'ampere, volt, ohm, siemens, coulomb, farad, henry, watt, joule. Mantenimento dei campioni nazionali (DM 591/1994) di: intensità di corrente elettrica, potenza elettrica, energia elettrica, tensione elettrica in regime alternato sinusoidale, resistenza elettrica in regime alternato sinusoidale, capacità elettrica, induttanza elettrica. Realizzazione del campione quantistico di resistenza e del campione di rapporti di tensione alternata. <i>Risultati ottenuti.</i> Svolgimento peer review visit to INRiM (EURAMET Project 1123 On site peer review CEM, INRiM and IPQ).</p> <p>Internazionalizzazione in ambito CCEM e EURAMET TC-EM. <i>Attività svolta.</i> EURAMET: Alternate to the General Assembly (2018-). EURAMET TC-EM: Chairmanship (-2019); Working Group on Strategic Planning (2019-2022). CCEM: Delegate (2017-), Working group on Regional Metrology Organizations (2019-2022). CPEM Executive Committee, member-at-large (2019-2022). <i>Risultati ottenuti.</i> Partecipazione a CCEM, CPEM e EURAMET meetings.</p>
<p>Terza missione</p>
<p>Supporto a normazione e regolamentazione <i>Attività svolta.</i> Progetto 16NRM01 GRACE (-2020): Validazione protocolli di misura elettrica con e senza contatto di dispositivi di grafene. <i>Risultati ottenuti.</i> Submission di Draft Technical Specifications per la caratterizzazione elettrica del grafene al Technical Committee IEC TC/113. Membership di CEI TC/113.</p> <p>Capacity Building <i>Attività svolta.</i> a) Progetto 17RPT04 VersiCaL (2018-2021): creazione di virtual lab per la metrologia dell'impedenza elettrica e training di Istituti Metrologici Primari europei. b) Workpackage di training del progetto 15RPT04 TracePQM <i>Risultati ottenuti.</i> a) Software di virtualizzazione. b) Completamento della fase di impact del progetto. b) Training NMI sull'impiego di software aperti per la digitalizzazione simultanea e la ricostruzione di profili d'onda arbitrari di tensione e corrente finalizzati alla riferibilità delle grandezze elettriche in alternata e la caratterizzazione di dispositivi e sorgenti AC.</p> <p>Certificazione tecnica e accreditamento <i>Risultati ottenuti.</i> Emissione di ca. 120 certificati/anno verso centri di taratura, 50 certificati/anno verso</p>

l'INRiM, certificati per audit interni ed esterni. Attività per ILC nell'ambito impedenza e potenza ed energia elettrica. Expertise tecnica per ACCREDIA: ispettori tecnici ed esperti per le grandezze elettriche (impedenza, potenza), membership Comitato Settoriale Accreditamento laboratori di taratura.

Formazione in metrologia

Attività svolta. a) Secondment di ricercatori internazionali. b) Dottorato in Metrologia, Politecnico di Torino, partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato. c) Tutoring di studenti di dottorato, di laurea magistrale, di laurea triennale.

Diffusione del nuovo Sistema Internazionale e della cultura metrologica

Attività svolta. Conferenze e seminari didattici per il pubblico e le scuole, interviste sui media, pubblicazioni divulgative. Column per numero speciale IEEE Instrumentation and Measurement Magazine. Conferenze, interventi, seminari, interviste per i media.

Convenzioni di collaborazione scientifica

Obiettivi. Supporto alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori

Attività svolta. Contributo alla stesura della convenzione di collaborazione scientifica con il MISE (in collaborazione con AE3) per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori

Risultati ottenuti. Stipula della convenzione.

Settore QN3 - Fotometria e radiometria
Responsabile: Giorgio Brida

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI					
Giorgio Brida	0,60	0,30		0,10	1
Roberto Filippo	0,90	0,10			1
Alice Meda	1,00				1
Mauro Rajteri	0,90	0,10			1
Maria Luisa Rastello	0,10	0,10			0,20
Andrea Sosso	0,70	0,10	0,20		1
Marco Terzi		0,30	0,60	0,10	1
Fernando Viarengo ⁽¹⁾		0,60	0,30	0,10	1
Assegni ricerca					
Paolo Durandetto	1				1
<i>Totale</i>	<i>5,20</i>	<i>1,60</i>	<i>1,10</i>	<i>0,30</i>	<i>8,20</i>
Personale in formazione					
Anita Fuda			0,15		0,15
Personale associato					
Franco Del Piano	1				1
Totale	6,20	1,60	1,25	0,30	9,35

⁽¹⁾ svolge attività anche come Assistente per la Qualità in SGQ.

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Fotorivelatori singolo fotone</p> <p><i>Obiettivi.</i> Taratura di detector SPAD</p> <p><i>Attività svolta.</i> Sviluppo modello teorico e analisi incertezza per taratura InGaAs/InP SPAD con metodo di sostituzione. Allestimento setup per taratura di Si SPAD</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Valutazione efficienza con correzione per tempo morto e incertezza associata per differenti setup di misura per la taratura di un InGaAs/InP SPAD in contesto di studio pilota internazionale.</p> <p>Caratterizzazione switch ottici e attenuatori per la taratura di Si SPAD in contesto di comparison internazionale.</p> <p><i>Obiettivi.</i> Rivelatori superconduttivi di singolo fotone</p> <p><i>Attività svolta.</i> Spostamento dei laboratori dal locale B201b e BS03 al locale A222. Montaggio schermo magnetico all'interno del refrigeratore ADR per ridurre disturbi del campo magnetico. Sviluppo di software in Labview per la gestione degli strumenti per caratterizzare la transizione superconduttiva dei campioni. Sviluppo di nuovi portacampioni con schermo termico e relativi pcb di collegamento.</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Caratterizzazione elettrica di film superconduttivi e dispositivi TES. Sono stati ottenuti film e dispositivi con temperature di transizione tra 100 mK e 42 mK, e spessori inferiori ai 40nm, caratteristiche fondamentali per ridurre la capacità termica dei rivelatori. Sono stati anche fatti dei test preliminari su nanofili superconduttivi in vista dell'applicazione per la rivelazione di fotoni a microonde.</p>
<p>Fotorivelatori predicibili (PQED)</p> <p><i>Obiettivi.</i> Misure ellissometriche su deposizioni film sottili (progetto ChipScale)</p> <p><i>Attività svolta.</i> Caratterizzazione (spessore, n, k) di deposizioni di film sottili di SiO₂, Al₂O₃ e SiNx;</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Identificazione dei film migliori per minimizzare le perdite superficiali.</p> <p><i>Obiettivi.</i> Sistema di lettura della temperatura del rivelatore dual-mode (progetto ChipScale);</p> <p><i>Risultati ottenuti.</i> Miglioramento della sensibilità del ponte di misura della temperatura.</p>
<p>Fotometria classica e quantistica</p> <p><i>Obiettivi.</i> Realizzazione setup per ghost imaging plenottico nella caratterizzazione spaziale della retina.</p> <p><i>Attività svolta.</i> Ghost imaging differenziale ad alta risoluzione; allestimento setup plenottico in correlazione; caratterizzazione setup su singolo ramo</p>

Risultati ottenuti. Ricostruzione immagine ghost standard con rapporto segnale rumore ottimizzato in presenza di rumore e perdite, usando il protocollo differenziale. Ricostruzione plenottica di un'immagine su singolo ramo. Caratterizzazione correlazioni tra rami per futura ricostruzione ghost plenottica

Volt quantistico

Obiettivi. Sviluppo di setup per la generazione di segnali riferibili alla costante di Planck e alla carica dell'elettrone per mezzo di dispositivi ad effetto Josephson di tipo programmabile e impulsato. Miglioramento della criogenia per il raffreddamento He-free di dispositivi superconduttivi per il quantum volt. Realizzazione di un apparato per la polarizzazione di dispositivi impulsati per mezzo di segnali ottici.

Attività svolta. Analisi degli effetti in segnali quantizzati a gradinata e loro effetto su risultati e incertezza di misura. Studio del comportamento termico di interfaccia a temperature criogeniche per l'ottimizzazione dei chip packaging. Sviluppo di un metodo per il sensing on-chip della temperatura delle giunzioni. Studio di un modello teorico della relazione ingresso-uscita.

Risultati ottenuti. Controllo ad anello chiuso della temperatura di lavoro di un dispositivo superconduttivo, con sensore on-chip. Realizzazione della prima versione di un prototipo di interfaccia ottica per la polarizzazione di un array impulsato. Packaging ad elevata conducibilità termica per array programmabile in ambiente He-free.

Ruolo NMI

Campioni nazionali

Attività svolta. Gestione e mantenimento dei campioni nazionali per la fotometria e la radiometria di rivelatori e materiali.

Risultati ottenuti. Disseminazione unità di misura delle grandezze della visione: intensità luminosa, illuminamento, luminanza, temperatura di distribuzione, Disseminazione campioni di potenza radiazione visibile, potenza radiazione in fibra ottica, sensibilità spettrale, trasmissione regolare e diffusa, riflessione regolare.

Confronti di misura

Obiettivi. Svolgimento di confronti internazionali.

Attività svolta. Confronto pilota per la taratura di fotorivelatori singolo fotone.

Risultati ottenuti. Capacità di mappare la sensibilità di rivelatori singolo fotone.

Attività svolta. Confronto EURAMET PR-S4, comparison on UVA power meters.

Risultati ottenuti. Revisione budget incertezze, discussione su Spectral Correction Factor, nuovo draft A,

Attività svolta. Confronto EURAMET PR-K6, comparison on neutral density filter transmittance.

Risultati ottenuti. Misure completate e report inviati, in attesa draft A.

Obiettivi. sviluppo e mantenimento di CMC.

Attività svolta. Azioni correttive Peer Review 2018: aggiornamento procedure di misura sui materiali.

Risultati ottenuti. Risoluzione rilievi sis. Qualità

Obiettivi. Attività nell'ambito di organismi e gruppi di lavoro metrologici.

Attività svolta. EURAMET TC-PR: convenor Basic Science (Photometry and Radiometry Strategic Research Agenda) CCPR: working group on strategic planning; Task Group G6 discussion forum on fibre optics, TG7 discussion forum on few-photon metrology, TG11 single-photon radiometry, TG13 Optical Fibre Power Responsivity; EURAMET TC-EM: SC-DC&QM DC and Quantum Metrology

Risultati ottenuti. Relazioni internazionali. Certificazione tecnica: n. 14 certificati emessi

Terza missione

Formazione

Attività svolta. Tutoring di studenti.

Risultati ottenuti. Tirocini curriculari (studenti terzo anno) 4, Tesi di Laurea Triennali: 2

Divulgazione scientifica

Attività svolta. Presentazione a CCPR.

Risultati ottenuti. Advancing the State of the Art in Measurement Science: Feasibility study towards comparison of the $g_2(0)$ measurement in the visible range

Settore QN4 – Ottica Quantistica
Responsabile: Marco Genovese

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione</i>	<i>Gestione o coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale strutturato					
Marco Genovese	0,75	0,10	0,05	0,10	1
Ivo Pietro Degiovanni	0,70	0,30			1
Marco Gramegna	0,75	0,20	0,05		1
Ivano Ruo Berchera	1				1
Fabio Saccomandi	1				1
Fabrizio Piacentini	1				1
Alessio Avella	1				1
Paolo Traina	1				1
Personale non strutturato					
Ekaterina Moreva (assegno)	1				1
Elena Losero (PhD, assegno)	1				1
Enrico Rebufello (PhD)	1				1
Salvatore Virzì (PhD)	1				1
Ettore Bernardi (assegno)	1				1
Giulia Petrini (PhD)	0,20				0,20
Giuseppe Ortolano (PhD)	0,20				0,20
Associati					
Paolo Olivero	0,20				0,20
Totale	12,80	0,60	0,10	0,10	13,60

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Tema di ricerca <i>Obiettivi.</i> Sviluppo di nuovi metodi di misura utilizzando le proprietà quantistiche della luce. Sviluppo di una metrologia per le emergenti tecnologie quantistiche. <i>Attività svolta.</i> Generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana – Si è effettuato uno studio sulla realizzazione di ghost imaging differenziale ottimizzato. Si è studiata l'applicazione di stati coerenti di SU(1,1) all'interferometria. Si sono studiati nuovi emettitori a singolo fotone da difetti in diamante (piombo). Nuovi paradigmi della misura quantistica – Si è proceduto nello studio delle misure deboli, in particolare realizzando il primo esperimento di misura di weak values medi su singolo stato. Si è studiata la ricostruzione della matrice pseudo-densità introdotta da V.Vedral. Metrologia per le tecnologie quantistiche – Si sono pubblicati studi pilota verso un confronto internazionale sulle misure di g_2 con sorgenti a singolo fotone impulsate e continue in visibile e telecom; si è inoltre effettuato uno studio pilota verso un confronto internazionale sulle misure di efficienza quantica di rivelatori a singolo fotone a 1550nm. <i>Risultati ottenuti.</i> 7 articoli su riviste JCR.</p>
Ricerca istituzionale (ruolo NMI)
<p><i>Obiettivi.</i> Norme e Standards <i>Attività svolta.</i> E' proseguita la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di uno standard europeo per la crittografia quantistica. <i>Risultati ottenuti.</i> Nuove norme ETSI.</p>
Attività di terza missione
<p><i>Obiettivi.</i> Sostegno alle imprese mediante cessione di tecnologia e conoscenza. Diffusione della cultura</p>

scientifica e metrologica.

Attività svolta. Seminari, riviste tecniche, divulgazione.

Divulgazione – È stata svolta attività di divulgazione scientifica rivolta alle scuole di ogni ordine e grado e particolarmente verso gli studenti delle scuole superiori. Effettuati seminari per la divulgazione della metrologia quantistica presso insegnanti e pubblico generico.

Settore QN5 - Tempo e frequenza
Responsabile: Filippo Levi

Personale impegnato (frazione di tempo pieno)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione</i>	<i>Gestione & coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale TI					
Filippo Levi	0,30	0,20	0,20	0,30	1
Davide Calonico	0,30	0,20	0,10	0,20	0,80
Gabriele Santambrogio	1				1
Carlo Sias	1				1
Giancarlo Cerretto	0,40	0,60			1
Marco Sellone	0,50	0,50			1
Ilaria Sesia	0,20	0,20	0,40	0,20	1
Salvatore Micalizio	1				1
Claudio Calosso	1				1
Cecilia Clivati	1				1
Marco Pizzocaro	1				1
Marco Tarallo	1				1
Gianluca Bertaina	0,20				0,20
Giovanna Signorile	0,20	0,10	0,20		0,50
Elio Bertacco	0,80	0,20			1
Alberto Mura	0,40	0,50	0,10		1
Roberto Costa ⁽¹⁾		0,50	0,50		1
Paolo Terzi	0,10	0,40	0,50		1
Andrea Perucca	0,20	0,30	0,50		1
Roberto Concas	1				1
Giuseppe Vizio		0,10			0,10
<i>Totale</i>	<i>11,60</i>	<i>3,80</i>	<i>2,50</i>	<i>0,70</i>	<i>18,60</i>
Personale TD					
Giacomo Cappellini	0,80				0,80
Franco Fiasca			1		1
<i>Totale</i>	<i>0,80</i>		<i>1</i>		<i>1,80</i>
Assegni ricerca					
Valerio Formichella	1				1
Lucia Duca	1				1
Carolina Cardenas	1				1
Elena Cantoni	0,50	0,50			1
Tung Thai	0,50	0,50			1
Filippo Bregolin	1				1
Matteo Barbiero	1				1
Michele Gozzelino	0,20				0,20
Giulia Aprile	0,50				0,50
Amelia Detti	0,10				0,10
Roberto Ricci	0,50				0,50
Elia Perego	1				1
<i>Totale</i>	<i>8,30</i>	<i>1</i>			<i>9,30</i>
Personale in formazione					
Piero Barbieri	0,80				0,80
Irene Goti	0,20				0,20
Renke Wang			0,50		0,50

Haixiao Lin/Shangha	0,70				0,70
Michele Gozzelino	0,80				0,80
Vivek Kuttippurath	0,50				0,50
Sani Sarcevic	0,30				0,30
<i>Totale</i>	<i>3,30</i>		<i>0,50</i>		<i>3,80</i>
Personale associato					
Giovanni Costanzo	0,60				0,60
Aldo Godone	0,20				0,20
Fabrizio Pollastri		0,20			0,20
Valerio Pettiti			0,20		0,20
<i>Totale</i>	<i>0,80</i>	<i>0,20</i>	<i>0,20</i>		<i>1,20</i>
Totale	24,80	5	4,20	0,70	34,70

(1) svolge attività anche come Assistente per la Qualità in SGQ

Articolazione del settore

Ricerca e Sviluppo
<p>Campioni atomici di frequenza, algoritmi per scala di tempo, link in fibra e sistemi di sincronizzazione remota, sistemi ibridi ione-atomo, raffreddamento molecolare</p> <p><i>Obiettivi.</i> Ricerca e sviluppo per applicazioni scientifiche tecnologiche e industriali, nei vari campi della metrologia di tempo e frequenza (campioni atomici, algoritmi e scale di tempo, spettroscopia, disseminazione, rumore di fase).</p> <p><i>Attività svolta</i></p> <p>Campioni in microonda. Sono stati completati gli studi sul trasferimento del rumore di ampiezza del laser all'orologio POP, evidenziando come questo rumore sia uno dei limiti fondamentali alla stabilità dell'orologio. È stato realizzato un primo prototipo di mini-POP, di massa e volume estremamente ridotti, e basato su una nuova miscela di buffer gas, idonea a ridurre la sensibilità termica dell'orologio.</p> <p>Campioni ottici. L'incertezza del campione di frequenza ottica all'itterbio IT-Yb1 è stata migliorata, raggiungendo $3e-17$. La sua frequenza è stata misurata con una catena metrologica tracciabile a TAI con un'incertezza di $2.6e-16$. Il campione è stato anche disseminato con il link in fibra ottica verso il radiotelescopio di Medicina per sperimentare innovative tecniche di confronti di frequenza via VLBI con il NITC (Giappone). Miglioramenti all'apparato sperimentale sono in corso per ridurre ulteriormente l'incertezza e aumentare l'affidabilità del campione.</p> <p>Il nuovo campione atomico basato su atomi di stronzio (Sr) ha continuato l'attività di costruzione e caratterizzazione dell'apparato sperimentale. È stata studiata e caratterizzata una nuova tecnica di raffreddamento e intrappolamento laser per la generazione di fasci atomici freddi - la "sideband-enhanced 2D-MOT", - che ha alto potenziale metrologico per gli orologi ottici basati su atomi del gruppo II. È stato finalizzato il disegno della nuova camera da vuoto, in titanio, che è stata ordinata e consegnata. L'apparato per esperimenti di cavity QED è in stato avanzato di design. È stato realizzato un primo sistema di imaging per gli atomi freddi. Il sistema di stabilizzazione di frequenza dei laser del campione di Sr è stato costruito ed è in fase di ottimizzazione.</p> <p>Spettroscopia molecolare. È stata migliorata la precisione nella misura di transizioni vibrazionali, raggiungendo il limite dato dal tempo di interazione. È iniziata la fase di costruzione di una nuova sorgente molecolare basata sul raffreddamento con elio a 4 K per produrre un fascio denso, lento e freddo di idruri e alogenuri metallici.</p> <p>Link in fibra ottica. È proseguito l'allestimento dei sistemi di disseminazione accurata di tempo verso il Fucino. La rete in fibra ottica, completata nel 2018, per la distribuzione di frequenza è stata utilizzata per esperimenti di geodesia VLBI in collaborazione con ASI e INAF. È stata compiuta una campagna internazionale di misure tra INRiM, INAF e NICT (Giappone) per il confronto di orologi ottici usando radioantenne VLBI e link ottico. È iniziata una collaborazione con il Politecnico di Torino e la fondazione LINKS per l'impiego di sistemi telecom in ambito metrologico e viceversa.</p>

Sono stati pubblicati tre lavori sulla QKD e l'entanglement in fibra ottica. È stata avviata una collaborazione con il QN4 e Toshiba, finalizzata alla distribuzione di chiavi quantistiche avanzate sfruttando le tecniche interferometriche utilizzate per la disseminazione di frequenza.

Atomi e ioni ultrafreddi. È stato attivato l'esperimento per l'intrappolamento di ioni di Bario. Quale test preparatorio, sono stati calibrati i forni di Bario mediante misura. Per il Litio ultrafreddo, sono stati ottimizzati i design dei laser e sono stati concepiti metodi alternativi per la realizzazione di raffreddamento laser di atomi in presenza di un risonatore ottico. Questi calcoli teorici saranno pubblicati su rivista, e sono stati realizzate le parti meccaniche per il test di questo raffreddamento, test che sarà svolto durante il 2020.

Sintesi di frequenza. E' proseguito lo sviluppo di due fasometri a 16 canali ad alta risoluzione per conto di FEMTO-ST. Sono proseguiti gli studi per lo sviluppo di elettronica a larga banda per trasferimenti di frequenza in fibra ottica e per la misura del rumore di fase su piattaforme digitali.

Infrastruttura PiQuET. Completamento del capitolato tecnico della camera pulita e relativa gara d'appalto; Individuazione del nuovo sito dentro il Campus INRiM. Acquisto dei dispositivi per QKD.

Ruolo NMI

Generazione della scala di tempo, realizzazione del secondo

Attività svolta.

Algoritmi e scale di tempo. Sono state implementate due scale di tempo completamente indipendenti per ottenere una completa ridondanza hardware e software, agganciate in fase con uno scarto massimo di 200 ps. È stata condotta una estesa sperimentazione per la realizzazione in tempo reale della scala di tempo mediante algoritmo di steering completamente automatizzato.

Nel corso del 2019 la scala di tempo nazionale UTC(IT), in conseguenza di ripetuti guasti è stata generata utilizzando stabilmente solo 3 maser H, ed è stata costantemente mantenuta entro pochi ns da UTC.

Il campione primario ITCsF2 è stato fermo per manutenzione. Il campione ottico all'Yb è stato utilizzato per eseguire 5 tarature di TAI. È stato concluso il processo di ammodernamento del laboratorio che realizza la scala di tempo nazionale UTC(IT), rinnovando l'architettura generale del laboratorio di tempo e dei laboratori ad esso collegati. Sono state realizzate due scale di tempo completamente indipendenti e ridondanti, mantenute in fase tra di loro. Sono stati sviluppati nuovi algoritmi di steering completamente automatici e sono stati testati sulla scala di riserva. È stata realizzata una nuova rete informatica del laboratorio di tempo svincolata dalla rete informatica INRiM, e con un livello di sicurezza estremamente più avanzato.

Terza missione

Servizi di tempo per Galileo, orologi ottici per lo spazio, attività conto terzi

Attività svolta.

Laboratorio di Tempo. Nel 2019 sono state emessi 153 certificati di taratura per attività conto terzi. Il laboratorio Demetra si è continuato a fornire servizi di timing certificato in fibra ottica ad utenti industriali.

Campioni in cella. L'attività di trasferimento tecnologico a favore di Leonardo SpA ha prodotto il primo sistema fisico di orologio POP per lo spazio che è stato testato con successo presso i laboratori INRiM. E' stato caratterizzato il modello della stabilità a breve e medio termine, la caratterizzazione della sensibilità magnetica, termica, la sopravvivenza agli shock meccanici impulsivi e vibrazionali. L'attività prosegue con un nuovo contratto per la realizzazione del design preliminare della parte ottica ed elettronica.

Link ottico. È stato avviato un progetto di trasferimento tecnologico verso il METAS (svizzera) per la realizzazione di un link di frequenza tra Basile, Berna e Zurigo.

Galileo. Sono proseguite le attività contrattuali legate al programma Galileo, in particolare quelle legate al Time Service Provider che vedono l'INRiM coinvolto nella generazione e nel monitoraggio della scala di tempo di Galileo; sono inoltre proseguite attività di supporto aggiuntive a Galileo legate alla validazione degli aspetti di timing del Sistema, nonché alla validazione degli aspetti di timing di EGNOS, il servizio complementare geostazionario europeo di navigazione.

Appendice 1: Struttura organizzativa dell'INRiM

Presidente: Diederik Sybolt Wiersma
Delega funzioni Presidente ai sensi dell'art. 6, comma 4 dello Statuto INRiM: Vito Fericola
Consiglio di amministrazione: Diederik Sybolt Wiersma; Vito Fericola, Ettore Vittone
Collegio dei revisori dei conti: Fabio Cantale (Presidente); Raffaele Di Giglio (membro effettivo); Diego De Magistris (membro effettivo), Elisa-Leyla Al-Qaisi (membro supplente)
Magistrato della Corte dei Conti, delegato al controllo sulla gestione: Carlo Mancinelli (delegato titolare); Marcella Tomasi (delegato sostituito dal 13/02/2019)
Organismo Indipendente di Valutazione: Gianpiero Ruggiero
Comitato di indirizzo per la qualità: Diederik Sybolt Wiersma; Moreno Tivan, Maria Luisa Rastello; Mauro Di Ciommo
Direttore scientifico: Maria Luisa Rastello Divisioni Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto) Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà) Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico)
Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto) Settori Scientifici Omogenei (SSO): ML1: Scienza e tecnologia alla nanoscala (Natascia De Leo) ML2: Campi e sistemi elettromagnetici (Gabriella Crotti) ML3: Acustica e ultrasuoni (Giovanni Durando) ML4: Scienze e tecnologie biomediche (Alessandra Manzin) ML5: Magnetismo, materiali e spintronica (Gianfranco Durin)
Divisione Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà) Settori Scientifici Omogenei (SSO): AE1: Metrologia della massa e delle grandezze apparentate (Alessandro Germak) AE2: Metrologia della lunghezza (Marco Pisani) AE3: Misure elettriche ed elettroniche (Pier Paolo Capra) AE4: Termodinamica fisica (Roberto Maria Gavioso) AE5: Termodinamica applicata (Andrea Merlone)
Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico) Settori Scientifici Omogenei (SSO): QN1: Chimica fisica e nanotecnologie (Andrea Mario Rossi) QN2: Elettronica quantistica (Luca Callegaro) QN3: Fotometria e radiometria (Giorgio Brida) QN4: Ottica quantistica (Marco Genovese) QN5: Tempo e frequenza (Filippo Levi)
Consiglio di Direzione: Maria Luisa Rastello; Paola Tiberto; Michela Segà; Davide Calonico; Vittorio Basso; Ivo Pietro Degiovanni; Claudio Origlia; Marco Pisani
Direttore generale: Moreno Tivan Attività generali di Istituto Sistemi informatici (Sandra Denasi) Servizio prevenzione e protezione (Renato Actis Foglizzo)

Servizio gestione qualità (Mauro Di Ciommo)

Unità organizzative

U.O. Affari Legali, Statuto e Regolamenti (Rosaria Anna Margiotta)

U.O. Bilancio e Contabilità (Federica Givone)

Direzione Risorse Umane e Contratti (Anna Galletti)

- Appalti e Contratti Passivi (Anna Galletti)

- Segreteria generale (Paola Casale)

U.O. Sviluppo Risorse Umane (Barbara Fracassi)

U.O. Comunicazione (dal 1/10/2019, *ad interim* Barbara Fracassi)

U.O. Trattamento economico del personale (Cristina Chiaberto)

U.O. Relazioni esterne e Biblioteca (fino al 30/09/2019, Elisabetta Melli)

U.O. Servizi tecnici, sicurezza ed ambiente (Claudio Rolfo)

U.O. Ufficio di diretta collaborazione del Presidente e del Direttore generale (Emanuela Del Ross)

Appendice 2: Progetti EMPIR

Tabella 1 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (2ª call) avviati nel 2016

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Health	15HLT01 METVBADBU GS	Quantitative measurement and imaging of drug-uptake by bacteria with antimicrobial resistance	292	292
	15HLT04 NEUROMET	Innovative measurements for improved diagnosis and management for neurodegenerative diseases	100	100
SI Broader scope	15SIB02 INK2	Implementing the new kelvin 2	153	153
	15SIB03 OC18	Optical Clocks with 1E-18 uncertainty	240	2.080
	15SIB04 QUADC	Waveform metrology based on spectrally pure Josephson voltages	103	103
	15SIB05 OFTEN	Optical Frequency Transfer - a European Network	280	2.023
	15SIB06 NANOMAG	Nano-scale traceable magnetic field measurements	300	300
Research Potential	15RPT03 HUMEA	Expansion of European research capabilities in humidity measurement	41	41
	15RPT04 TRACEPQM	Traceability routes for electrical power quality measurements	49	49

Tabella 2 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (3a call) avviati nel 2017

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Energy	16ENG04 MyRailS	Metrology for smart energy management in electric railway systems	462	2.562
	16ENG08 MICEV	Metrology for inductive charging of electric vehicles	418	2.115
	16ENG09 LNG III	Metrological support for LNG and LBG as transport fuel	186	2.375
Environment	16ENV06 SIRS	Metrology for stable isotope reference standards	101	2.755
	16ENV07 AEROMET	Aerosol metrology for atmospheric science and air quality	165	2.277
Normative	16NRM01 GRACE	Developing electrical characterisation methods for future graphene electronics	200	642
	16NRM02 SURFACE	Pavement surface characterisation for smart and efficient road lighting	160	522
	16NRM04 MagNaStand	Towards an ISO standard for magnetic nanoparticles	85	660

Tabella 3 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (4^a call) avviati nel 2018

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Fundamental	17FUN01 (BeCOMe)	Light-matter interplay for optical metrology beyond the classical spatial resolution limits	200	1.722
	17FUN03 (USOQS)	Ultra-stable optical oscillators from quantum coherent and entangled systems	360	1.795
	17FUN06 (SIJUST)	Single-photon sources as new quantum standards	130	1.799
	17FUN07 (CC4C)	Coulomb Crystals for Clocks	200	1.740
	17FUN08 (TOPS)	Metrology for topological spin structures	150	1.590
	17FUN10 (ParaWave)	Josephson travelling wave parametric amplifier and its application for metrology	199	1.632
Industry	17IND01 (MIMAS)	Procedures allowing medical implant manufacturers to demonstrate compliance with MRI safety regulations	200	1.583
	17ND03 (LAvA)	Large Volume Metrology Applications	175	1.800
	17IND04 (EMPRESS2)	Enhancing process efficiency through improved temperature measurement 2	77	1.800
	17IND06 (FutureGridIII)	Metrology for the next-generation digital substation instrumentation	102	1.589
	17IND12 (Met4FoF)	Metrology for the Factory of the Future	163	1.800
	17IND14 (WRITE)	Precision Time for Industry	363	1.616
Normative	17NRM03 (EUCoM)	Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry	120	643
	17NRM05 (EMUE)	Advancing measurement uncertainty - comprehensive examples for key international standards	50	800
Research Potential	17RPT03 (DIG-AC)	A digital traceability chain for AC voltage and current	53	499
	17RPT04 (VerslCaL)	A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges	65	445

Tabella 4 – Valore totale e finanziamento UE progetti EMPIR (5^a call) avviati nel 2019

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Health	18HLT06 (RaCHy)	Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept	400	2.058
	18HLT05 (QUIERO)	Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers	550	2.073
Networks	18NET02 (TraceLabMed)	Support for a European Metrology Network on traceability in laboratory medicine	40	490
	18NET03 (SEG-Net)	Support for a European Metrology Network on smart electricity grids	40	491
	18NET05 (MathMet)	Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics	20	465
Normative	18NRM03 (INCIPIT)	Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation	60	434
Research Potential	18RPT01 (ProbeTrace)	Traceability for contact probe and stylus instrument measurements	15	429
SI Broader Scope	18SIB01 (GeoMetre)	Large-scale dimensional measurements for geodesy	201	1.960
	18SIB02 (Real-K)	Realising the redefined kelvin	230	2.306
	18SIB04 (QuantumPascal)	Towards quantum-based realisations of the pascal	270	1.571
	18SIB05 (ROCIT)	Robust Optical Clocks for International Timescales	250	2.064
	18SIB06 (TiFOON)	Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks	300	10.982
	18SIB07 (GISQ)	Graphene impedance quantum standard	250	1.912
	18SIB08 (ComTraForce)	Comprehensive traceability for force metrology services	210	2.243
	18SIB10 (chipSCALE)	Self-calibrating photodiodes for the radiometric linkage to fundamental constants	150	1.694

Appendice 3: Altri progetti INRiM

Tabella 5 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2019

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
EC (H2020)	Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)	start date: November 1, 2019 end date: October 31, 2022	325	2.652
H2020 MSCA ITN (GA 860060)	Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)	start date: October 1, 2019 end date: September 30, 2023	261	4.041
H2020 MSCA ITN (GA 861145)	Magnetolectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetolectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)	start date: September 1, 2019 end date: August 31, 2023	261	3954
CNES - Centre Spatial de Toulouse	Galileo Reference Center-Member States support (2 partnership agreement) (GRC MS 2)	start date: September 1, 2019 end date: August 31, 2020	28	28
Silicon Valley Community Foundation	Agent-based irreversibility in quantum theory (FQXi)	start date: March 1, 2019 end date: August 31, 2020	18	91
EC (H2020)	Photonic and nAnomeTric High-sensitivity bio-Sensing (PATHOS)	start date: January 1, 2019 end date: December 31, 2023	506	2.567
H2020	Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)	start date: October 1, 2018 end date: September 30, 2021	95	1.154
H2020 (ERC-EC)	Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)	start date: July 1, 2018 end date: June 30, 2023	Non finanziato (INRiM è partner terzo)	
NATO	Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)	start date: July 12, 2018 end date: July 11, 2021	99	342
NATO tramite Univ. California	Analysis, design and implementation of an End-to-End QKD link over a 400 km Distance (QKD)	start date: May 9, 2017 end date: May 8, 2020	110	340
EC (H2020)	CLOCK NETWORK Services: Strategy and innovation for clock services over optical-fibre networks (CLONETS)	start date: January 1, 2017 end date: June 30, 2019	236	1.995
ESA - ESTEC	Compact Optical Attitude Transfer System (COATS CCN 1)	start date: June 1, 2016 end date: June 30,	34	50

		2019		
EC (H2020 MSCA RISE)	Quantum sensors - from the lab to the field (Q-SENSE)	start date: January 1, 2016 end date: December 31, 2019	27	945
GSA/EC	Egnos-SPMS	start date: Nov 2015 Life span: 7 years	121	173
H2020 (ERC- EC)	An ultracold gas plus one ion: advancing Quantum Simulations of in-and-out- equilibrium many-body physics (PlusOne)	start date: May 1, 2015 end date: April 30, 2020	1.496	1.496

Tabella 6 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2019

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
MIUR (Progetto Premiale)	Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease (Nano4Brain)	start date: October 15, 2019 end date: October 14, 2021	289	2.150
MIUR (PRIN 2017)	Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control (SustMetMat)	start date: September 10, 2019 end date: September 16, 2022	76	762
Progetto CRT	Le ferite croniche dell'anziano: studio dell'effetto antimicrobico di nanogocce ossigenate e di modelli 3D di pelle	start date: January 1, 2019 end date: December 31, 2020	5	30
MIUR (Progetto Premiale)	New sensors based solutions for sustainable de- production (SENSEI)	start date: January 1, 2019 end date: December 31, 2022	457	2.638
Hal Service srl (POR FESR)	Subcontratto con la Società Hal Service srl per attività di ricerca nell'ambito del progetto OTTEMPO "Ottimizzazione del tempo" (OTTEMPO HAL)	start date: October 1, 2018 end date: September 30, 2019	33	497
Consorzio TOP-IX (POR FESR)	Subcontratto con il Consorzio Top-Ix per attività di ricerca nell'ambito del progetto OTTEMPO "Ottimizzazione del tempo" (OTTEMPO HAL)	start date: October 1, 2018 end date: September 30, 2019	66	497
MIUR (Progetto Premiale)	Volume Photography: measuring three dimensional light distributions without opening the box (VOLUME PHOTOGRAPHY)	start date: January 1, 2018 end date: December 31, 2020	318	452
MIUR (Progetto Premiale)	Novel quantum-based and spintronic sensors for a traceable metrology (QUANTUMET)	start date: January 1, 2018 end date: December 31, 2020	395	395

Ministero della Salute	Food authenticity: metodi analitici innovativi a tutela del consumatore	start date: December 1, 2017 end date: November 30, 2019	4	108
ASI	Attività propedeutiche allo sviluppo della capacità PRS nazionale del Programma Galileo – attività a completamento della rete in fibra ottica per la distribuzione del segnale T/F (DTF-Matera)	start date: December 20, 2017 end date: December 19, 2020	1.000	1.555
MIUR (FARE)	Ultracold ion crystals in a quantum (UltraCrystal)	start date: September 1, 2017 end date: August 31, 2020	90	90
ASI	Distribuzione di segnali T/F campione in fibra ottica per applicazioni spaziali e a supporto del timing di Galileo (DTF-Galileo)	start date: March 20, 2017 end date: March 19, 2020	500	1.924
MIUR (Progetto Premiale)	Laboratorio Multidisciplinare del Mediterraneo (LABMED)	start date: March 1, 2017 end date: March 1, 2019	160	329
MIUR (Progetto Premiale)	Cibo&Salute	start date: January 1, 2017 end date: December 31, 2019	129	4.646
MIUR (Progetto Premiale)	Materiali innovativi e tecnologie efficienti per le energie rinnovabili (MATER)	start date: January 1, 2017 end date: December 31, 2019	229	5.499
MIUR (PRIN 2015)	A new primary method of gas thermometry based upon Doppler-broadened mercury spectroscopy in the UV region (HG DOPPLER SPECTROSCOPY)	start date: September 20, 2016 end date: February 5, 2020	163	558
MIUR (Progetto Premiale)	Intermodal Secure Quantum Communication on Ground and Space (Q-SecGroundSpace)	start date: August 1, 2016 end date: July 31, 2019	470	1.589

Tabella 7 - Progetti di ricerca Regionali attivi nel 2019

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
Regione Piemonte	Piemonte Quantum Enabling Technology (PiQuET)	start date: April 10, 2018 end date: April 9, 2020	1.900	6.000
Regione Piemonte INFRA-P	Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA)	start date: May 10, 2018 end date: May 9, 2020	840	2.132

Regione Piemonte	Hierarchical Manufacturing (HOME)	Open Europe	start date: March 15, 2018 end date: June 14, 2020	103	10.265
------------------	-----------------------------------	-------------	---	-----	--------

Tabella 8 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2019

Committente	Argomento	Durata	Valore totale (k€)
Thales Alenia Space Italia S.p.A.	NGGM Proof of Concepts activities (NGGM-POC)	start date: December 19, 2019 end date: May 31, 2020	50
THREE-ES srl	Realizzazione di attività di misurazione del rumore di cavitazione prodotto dall'apparecchiatura Biobang attraverso metodi ottici e acustici (Biobang)	start date: November 1, 2019 end date: April 30, 2020	15
ETH - Swiss Federal Institute of Technology	SYNERGIA	start date: October 10, 2019 end date: October 10, 2020	196
CESI S.p.A.	Studio relativo all'esposizione umana a campi elettromagnetici durante i lavori sotto tensione	start date: July 9, 2019 end date: December 31, 2019	20
ESA - Università di Pisa	Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)	start date: May 1, 2019 end date: April 30, 2021	80
TUBITAK National Metrology Institute (UME)	Design e realizzazione di celle elettrolitiche (UME-TUBITAK-CELLS)	start date: May 1, 2019 end date: April 30, 2020	23
CSEM - Centre Suisse d'electronique et de Microtechnique S.A.	R&D COLLABORATION for the validation of the SMINTEBI method developed by CSEM for the indirect estimation of the radiator heat consumption (SMINTEBI-CSEM)	start date: March 27, 2019 end date: May 31, 2019	30
IAM S.R.L.	Attività validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)	start date: March 25, 2019 end date: September 24, 2021	216
Autostrade per l'Italia S.p.A. presso Essediesse S.p.A.	Certificazione laboratorio mobile (CERT.LAB.MOB.)	start date: March 25, 2019 end date: September 30, 2020	36
ITT ITALIA S.R.L.	Microanalisi FEI Inspect F, mediante la spettrometria a dispersione di energia (EDS) (MicroanalysisInspect)	start date: March 26, 2019 end date: December 31, 2019	25
LASERLAM S.r.l.	Sviluppo di un sistema di monitoraggio per il processo di saldatura con il sistema ECOWELD+ (ECOWELD+)	start date: October 4, 2018 end date: November 22, 2019	35
TecnoLab del Lago Maggiore S.r.l.	Modellizzazione, analisi e realizzazione di uno smorzatore acustico innovativo per rubinetteria sanitaria (ZeroNoise)	start date: October 4, 2018 end date: May 31, 2020	130
ESA - TAS I	Programma LISA (LISA)	start date: July 2, 2018 end date: December 31, 2019	25

LTF S.p.A	Innovativo strumento di misura per il settore della durometria per le microdurezze Vickers e Martens (Microdurometro LTF)	start date: July 27, 2018 end date: January 26, 2019	25
ANAS S.p.A	Upgrade del sistema di misura TIREZIA e ripristino della funzionalità di misura della luminanza (ANAS)	start date: March 16, 2018 end date: February 15, 2019	40
LTF S.p.A.	Concessione di una licenza di sfruttamento del know-how nel settore delle misure di durezza per le scale rockwell, brinell, vickers e marten (LTF Cessione Know-how)	start date: November 7, 2017 end date: November 8, 2027	Cifra che dipende da royalties calcolate sulle vendite future di LTF S.p.A.
GNSS tramite Spaceopal	Time Service Provider (TSP GSOp)	start date: January 1, 2017 end date: June 31, 2021	1.864
ESA tramite Thales Alenia Space Italia	Galileo Exploitation Phase System and Service Support Activities (FOC Exploitation)	start date: January 1, 2017 end date: December 31, 2020	610
Thales Alenia Space Italia	Time Transfer Modem (TTM)	start date: January 1, 2017 end date: December 31, 2019	75
IAM SRL	Ricerca e validazione di condotti sbarre e loro accessori	start date: April 19, 2016 end date: April 18, 2019	155
Microplus s.r.l	Contratto per la commercializzazione del software Powerfield dell'INRiM	start date: 2010 life span: 10 years	on the basis of sales volume

Appendice 4: Convenzioni con altri Istituti e Università

Contraenti	Oggetto della convenzione	Durata/scadenza
Centro Nazionale della Ricerca Scientifica (CNRS), Commissariato per l'Energia Atomica e le Energie Alternative (CEA) e Laboratoire Souterrain de Modane (LSM)	Cooperazione transfrontaliera per la realizzazione del progetto "Infrastruttura a Laser Ultrastabile su Fibra Ottica per misure di frequenza di alta precisione (Link Ottico Torino-Modane)"	
Zhejiang Institute of Metrology of the People's Republic of China (ZJIM) - Hangzhou	Accordo di collaborazione scientifica e tecnologica nell'ambito della termometria e della chimica	10 anni dal 12/2012
Università degli Studi di Torino	Convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata a regolamentare i rapporti di collaborazione tra i due Enti nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università	5 anni dal 17/11/2014
Scuola per Artigiani Restauratori "Maria Luisa Rossi" - Torino	Convenzione di collaborazione nell'ambito della caratterizzazione chimico-fisica (composizionale, microstrutturale, colorimetrica e spettroradiometrica) dei beni culturali	5 anni dal 05/03/2014
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - Roma	Convenzione quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale	5 anni dal 05/03/2014
CNR - Roma	Accordo quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale	5 anni dal 05/03/2014
INFN - Frascati (RM)	Convenzione quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale	5 anni dal 26/05/2014
National Metrology Institute of South Africa (NMISA) - Pretoria	Collaborazione scientifica nell'ambito della metrologia	5 anni dal 6/12/2014
Seconda Università degli Studi di Napoli - Dipartimento di Matematica e Fisica (DMF) - Caserta	Accordo di collaborazione nel settore concernente lo sviluppo di metodologie di spettroscopia laser ad alta risoluzione e sensibilità per la determinazione di quantità di sostanza	5 anni dal 12/06/2014
Politecnico di Torino	Convenzione per l'attivazione e il funzionamento del corso di dottorato in metrologia	6 anni + 8 mesi dal 19/05/2014 (scade il 31/12/2020)
Regione Basilicata - Potenza	Prot. d'intesa per la collab. scientifica finalizzata allo sviluppo di tecnologie nel settore della metrologia e della sensoristica di precisione e alla certificaz. della relativa strumentazione	5 anni dal 10/09/2014
Istituto di Cibernetica del CNR "E. Caianiello" - Pozzuoli (NA)	Convenzione di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale	5 anni dal 03/10/2014
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) - Braunschweig (Germany)	Accordo di collaborazione scientifica e tecnologica su "Determination of the Avogadro constant and the kilogram realisation by counting Si atoms"	4 anni dal 03/02/2015

Slovak Institute of Metrology (SMU)	Memorandum of Understanding per regolare rapporti di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico	5 anni dal 25/06/2015
Scuola Normale Superiore (SNS) - Pisa	Convenzione di collaborazione scientifica e di formazione	4 anni dal 14/09/2015
College of Electrical Engineering and Control Science of Nanjing Tech University (NJTECH-CEECS)	Agreement di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico su tematiche di comune interesse	5 anni dal 25/09/2015
Agenzia Spaziale Italiana (ASI) - Roma	Convenzione quadro di collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e nella formazione professionale su tematiche di comune interesse	5 anni dal 12/01/2016
Università degli Studi di Trento	Convenzione quadro di collaborazione nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche e industriali e della formazione su tematiche di comune interesse	5 anni dal 19/02/2016
Università degli Studi di Pavia	Convenzione di collaborazione scientifica nei settori di comune interesse nel campo della Chimica	5 anni dal 20/06/2016
ENEA - Roma	Accordo di collaborazione per lo svolgimento di attività di ricerca e sviluppo nel settore delle infrastrutture di ricerca per Health & Food da effettuarsi collegialmente attraverso una Joint Research Unit (JRU) comune nazionale denominata METROFOOD-IT	5 anni dal 21/06/2016
Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale" (CCR)	Convenzione di collaborazione scientifica nel campo dei beni culturali per misure iperspettrali su dipinti e sarcofagi	3 anni dal 23/06/2016
Institut za mjeriteljstvo Bosne i Hercegovine (IMBIH)	Memorandum of Understanding per regolare rapporti di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico e, specificamente, al fine di formare i metrologi bosniaci	5 anni dal 28/06/2016
Università degli Studi di Milano – Centro Interuniversitario di Magnetismo Naturale (CIMAN) - Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio"	Convenzione di collaborazione nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale nel settore di comune interesse dell'INRiM e del CIMAN concernente lo studio del magnetismo naturale nel campo della geologia e dei beni culturali e ambientali	3 anni dal 14/09/2016
Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) - Parigi	Accordo di collaborazione nel campo della metrologia dei fluidi al fine di costituire una struttura scientifica e un gruppo di ricerca comuni all'LNE e all'INRiM denominati "Laboratorio di Ricerca Congiunto di Metrologia dei Fluidi Evangelista Torricelli"	5 anni dal 29/09/2016
Centre for Research and Technology-Hellas/Chemical Process and Energy Resources Institute (CERTH/CPERI) - Themi-Thessaloniki (Grecia)	Agreement di collaborazione scientifica e tecnologica di collaborazione nel settore concernente lo studio dei materiali magnetici e, specificamente, dei magneti in ferrite sinterizzata	3 anni dal 12/01/2017

Societa' Italiana Di Fisica (SIF) - Bologna	Convenzione quadro di collaborazione scientifica, nel sostegno e nel potenziamento dell'attività di formazione di laureandi, dottorandi e giovani ricercatori	3 anni dal 28/02/2017
Accademia Europea di Bolzano (Eurac Research)	Convenzione di collaborazione nell'ambito dello studio multidisciplinare di Beni Culturali, di origine sia antropica che naturale, con l'utilizzo di metodi non invasivi e di ultima generazione	5 anni dal 19/05/2017
Consorzio Torino Piemonte Internet eXchange (TOP-IX) -Torino	Convenzione per la diffusione del segnale di tempo riferito a UTC attraverso la fibra ottica	3 anni dal 28/05/2017
Politecnico di Torino	Convenzione per l'attivazione e il funzionamento del Corso di Dottorato di Ricerca in Metrologia per un triennio a partire dall'anno accademico 2017/2018 (33°, 34° e 35° ciclo)	5,5 anni dal 03/07/2017
Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro" (UPO) - Vercelli	Convenzione di collaborazione scientifica nei settori di attività delle nanoscienze, della chimica dei polimeri e della metrologia	5 anni dal 18/10/2018
Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) - Bergamo	Convenzione tra l'INRiM e l'ACAE di collaborazione per l'esecuzione di prove su apparecchiature elettriche di bassa tensione industriali, finalizzate alla certificazione, per conto dell'ACAE, secondo lo schema CB	5 anni dal 16/10/2018
Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) - Bergamo	Accordo tra l'INRiM e l'ACAE per regolamentare le attività che il Laboratorio Alte Tensioni & Forti Correnti (LATFC) dell'INRiM svolgerà su incarico dell'ACAE	5 anni dal 16/10/2018
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Addendum alla convenzione quadro di collaborazione scientifica del 2 ottobre 2014 tra l'INRiM e il LENS in cui sono disciplinati gli obblighi in materia di sicurezza sul lavoro e la tutela della proprietà intellettuale	4 anni dal 16/10/2018
Consorzio Top-IX - Torino	Convenzione tra l'INRiM e il Consorzio TOP-IX di Torino per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga	9 anni dal 24/09/2018
Consortium GARR - Roma	Protocollo d'intesa di collaborazione scientifica con il Consortium GARR di Roma al fine di definire e perfezionare rapporti di collaborazione scientifica negli ambiti dello sviluppo e dell'innovazione tecnologica, con particolare riguardo alla distribuzione di segnali di riferimento di tempo e frequenza su scala geografica attraverso infrastrutture di rete in fibra ottica	5 anni dal 13/06/2018
Istituto di Radioastronomia di Bologna dell'INAF (IRA/INAF) e National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo	Collaborative Research Agreement al fine di definire e perfezionare rapporti di collaborazione scientifica e, specificamente, al fine di installare presso il NICT e presso la sede di Medicina dell'IRA/INAF una coppia di antenne radioastronomiche innovative, con le quali studiare il confronto tra	10 mesi dal 21/05/2018

	l'orologio ottico a Itterbio dell'INRiM e quello allo Stronzio del NICT, collegati entrambi alle antenne attraverso un link coerente in fibra ottica	
Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI) - Roma	Accordo quadro al fine di definire e perfezionare rapporti di collaborazione scientifica nel settore delle telecomunicazioni	4 anni dal 24/04/2018
Politecnico di Torino	Accordo di collaborazione scientifica finalizzato a progettare e realizzare la prima edizione di un Master universitario di II livello in lingua inglese denominato "Photonics for Data Networks and Metrology", da realizzare nell'a.a. 2018/2019	dal 09/04/2018 fino al termine del Master
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Roma	Accordo di programma avente a oggetto lo sviluppo della ricerca scientifica e della formazione professionale nei settori di attività riguardanti la micro e nano-fabbricazione associata alla microscopia ionica ed elettronica, il self-assembly di copolimeri a blocchi e di nano-sfere, l'impiego di fasci ionici e nano-lavorazioni in dispositivi quantistici e rivelatori di radiazione	14 mesi dal 13/03/2018
Istituto Nazionale di Ottica del CNR (INO-CNR) - Firenze	Convenzione operativa avente a oggetto lo sviluppo della ricerca scientifica e tecnologica nelle seguenti aree disciplinari: orologi ottici e sistemi fisici ad alta precisione; spettroscopia ad alta precisione; comunicazioni quantistiche	1 anno dal 20/02/2018
Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR (ITC-CNR) -San Giuliano Milanese (MI)	Convenzione operativa avente a oggetto lo sviluppo della ricerca scientifica e tecnologica nelle seguenti aree disciplinari: calorimetro adiabatico modulato e proprietà termodinamiche di fluidi puri e miscele	14 mesi dal 11/01/2018
IRA/INAF Radiotelescopi - Medicina (BO) e National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo	Addendum all'accordo di collaborazione tra l'INRiM, l'IRA/INAF e il NICT	Contratto del 29/03/2019; scade il 31/03/2021
Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica	Convenzione finalizzata all'attivazione di una borsa per il Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" (35° ciclo)	Contratto del 05/08/2019; scade il 31/10/2022
National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo	Collaborative Research Agreement finalizzato all'effettuazione di un esperimento su trasferimenti di tempo via satellite geostazionario tramite l'utilizzo, presso l'INRiM, del Software Ranging System (SRS) modem sviluppato dal NICT	Contratto del 16/07/2019; scade il 31/03/2021
Università degli Studi di Brescia (UniBS)	Convenzione per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga	Contratto del 19/08/2019; scade il 18/08/2024
Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica	Convenzione finalizzata all'attivazione di una borsa per il Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" (35° ciclo)	Contratto del 15/10/2019; scade il 31/10/2022

National Institute of Metrology (China)	Memorandum of Understanding per la collaborazione nell'ambito dei campioni di misura relativamente alle scienze fisiche e chimiche di base e applicate	Contratto del 26/11/2019; scade il 25/11/2024
Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) - Direzione generale per il mercato, la concorrenza, la tutela del consumatore e la normativa tecnica - Roma	Convenzione di collaborazione scientifica per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori	Contratto del 17/12/2019; scade il 30/10/2021
Centro Laboratorio Energia Nucleare Applicata dell'Università di Pavia (LENA) - Pavia	Accordo di collaborazione scientifica per lo svolgimento di attività di ricerca di comune interesse nel campo della Metrologia in Chimica	Contratto del 17/12/2019; scade il 31/10/2022
Fondazione IRCCS Istituto Neurologico "Carlo Besta" (FINCB) - Milano	Accordo di collaborazione scientifica per lo sviluppo di linee di ricerca pre-clinica, clinica e tecnica nell'ambito della terapia con ultrasuoni	Contratto del 19/12/2019; scade il 18/12/2022
Università degli Studi di Pavia - Amministrazione – Servizio Sicurezza e Salute - Pavia	Contratto concernente le attività di sorveglianza sanitaria, di sorveglianza fisica delle radiazioni e le attività derivanti dagli obblighi per il Datore di Lavoro del D.Lgs n. 81/2008 e s.m.i. relativamente al personale dell'INRiM distaccato presso l'Università degli Studi di Pavia	Contratto del 16/12/2019; scade il 17/12/2022
Università degli Studi di Torino	Convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata a regolamentare i rapporti di collaborazione tra i due Enti nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università	Contratto del 10/12/2019; scade il 09/12/2024

Appendice 5: Laboratori principali

Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Laboratorio per la realizzazione di dispositivi superconduttori a film sottile
Laboratorio per la caratterizzazione di materiali e dispositivi superconduttivi
Laboratorio di caratterizzazione superconduttiva in cryocooler
Laboratorio di caratterizzazione ottica ed elettrica di nanodispositivi e materiali avanzati nanostrutturati
Laboratorio Semiconduttori e di deposizione di materiali 2D e magnetici a film sottile
Laboratorio di microscopia a doppio fascio elettronico e ionico e per la microanalisi (Nanofacility Piemonte)
Laboratorio di camera pulita ISO5 per processi di litografia ottica e laser
Laboratorio di realizzazione di dispositivi TES
Laboratorio di calcolo Modelli Elettromagnetici
Laboratorio dispositivi elettromagnetici
Laboratorio campi magnetici di riferimento a bassa e media frequenza
Laboratorio campi elettrici di riferimento
Laboratorio campi elettromagnetici di riferimento in cella TEM, GTEM e μ TEM
Camera anecoica per taratura di antenne
Camera schermata per taratura dispositivi EMC
Laboratori di sperimentazione, taratura e misura di forti correnti alternate e alte tensioni, continue, alternate e distorte
Laboratorio caratterizzazione e taratura strumentazione di alta tensione
Laboratorio Ultrasuoni (caratterizzazione di campi ultrasonori in ambito biomedicale)
Camera anecoica
Camera riverberante
Laboratorio di Acustica (taratura di microfoni, fonometri, filtri, calibratori)
Laboratorio caratterizzazione acustica materiali (attività sospesa)
Laboratorio di calcolo Modelli Elettromagnetici
Laboratorio dosimetria elettromagnetica
Laboratorio di preparazione e caratterizzazione per materiali simulatori tissutali e drug delivery
Laboratorio di metrologia per le bioscienze
Laboratorio di microscopia avanzata
Laboratorio di analisi per attivazione neutronica, presso l'Università di Pavia
Preparazione di materiali magnetici per rapida solidificazione, di film sottili e di multistrati magnetici.
Preparazione di film sottili e di multistrati magnetici.
Caratterizzazione e studio delle proprietà fisiche di materiali magnetici dolci, duri, amorfi e nanostrutturati.
Laboratorio di misure magnetiche per certificazione
Laboratori di magnetometria ultrasensibile per misure proprietà magnetiche materiali.
Laboratori per lo studio delle proprietà di trasporto in nastri e film sottili magnetici.
Laboratorio di diffrattometria a raggi X
Laboratorio di metallurgia per la produzione di leghe metalliche amorfe e nanostrutturate, tramite rapida solidificazione e metallurgia delle polveri
Laboratorio trattamenti termici
Laboratorio di calorimetria a scansione differenziale per l'analisi delle trasformazioni di fase nei materiali
Misure a microonde rumore e nano correnti
Laboratorio di Machine Learning

Divisione Metrologia applicata e ingegneria

Laboratorio masse
Laboratorio densità
Laboratorio portate di liquidi
Laboratorio di simulazione termo fluidodinamica (Mockup)
Laboratorio alte pressioni gas
Laboratorio alte pressioni liquido
Laboratorio medio vuoto
Laboratorio portate e volumi di gas
Laboratori forze
Laboratorio durezza
Laboratorio gravità
Laboratorio vibrazioni
Laboratorio per l'interferometria X e ottica
Laboratorio per la stabilizzazione di laser e campioni ottici di frequenza
Laboratorio per la nano-metrologia e la metrologia delle superfici
Laboratori per la metrologia dei campioni a facce e lineari corti e dei campioni diametrali

Laboratorio per la metrologia dei campioni a facce lunghi
Laboratorio per la metrologia a coordinate
Laboratorio per la metrologia degli angoli e della rotondità
Laboratorio per l'interferometria a lunghe distanze (interferometro 28 m)
Laboratorio prototipazione con stampanti 3D
Struttura ad alto vuoto grande volume a sospensione pneumatica
Tavolo ottico in camera bianca classe ISO 6
Laboratori di elettronica
Laboratorio campione nazionale di tensione e attività di ricerca collegate
Laboratorio campione nazionale di resistenza e attività di ricerca collegate
Laboratorio per la metrologia delle alte resistenze
Laboratorio sviluppo e prototipazione strumenti per la metrologia
Laboratorio per la metrologia dei rapporti di tensione
Laboratorio per la taratura degli strumenti elettrici programmabili e multifunzione
Laboratorio per la taratura dei misuratori di grandezze alternate
Laboratorio alte tensioni e forti correnti (LATFC)
Laboratorio Termometria Primaria a temperature intermedie per realizzazione ITS-90 con SPRT a stelo
Laboratorio Termometria in Criogenia per realizzazione ITS-90 con SPRT a capsula
Laboratorio Termometria Primaria Acustica e a Indice di Rifrazione
Laboratorio Campioni Primari per termometria a radiazione per realizzazione ITS-90 ad alta temperatura
Laboratorio Tecniche per Termometria IR e caratterizzazioni spettrali di termometri a radiazione
Laboratorio Taratura termometri a radiazione e misuratori flusso termico radiativo
Laboratorio Termometria Industriale per contatto.
Laboratorio Termometria Superficiale e a fluorescenza.
Laboratorio Conducibilità Termica dei materiali.
Laboratorio Campioni Primari di Umidità nei gas.
Laboratorio Campioni secondari di umidità e temperatura dell'aria
Laboratorio di misura di umidità nei materiali
Laboratorio di misura di Proprietà Termofisiche di fluidi ad alta pressione
Laboratorio di misura della Densità di fluidi in fase liquida
Laboratorio metrologia Termodinamica Applicata
Tunnel a vento a controllo di temperatura, umidità e pressione – "EDDIE"
Camere portatili per tarature di termometri e barometri on site
Camere portatili per la valutazione dell'Appearance
Laboratorio mobile per taratura sensori termici permafrost
Camere climatiche, bagni termostatici
Laboratorio Miscele gravimetriche e analisi organica
Laboratorio primario di igrometria e temperatura dell'aria

Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie

Laboratori campioni ottici di frequenza.
Laboratorio del link ottico di frequenza.
Laboratori per i campioni di tempo e frequenza campione primario di frequenza a fontana di Cs.
Camera schermata ad alta attenuazione per spettroscopia atomica e molecolare.
Laboratorio molecole fredde
Laboratorio miscele ioni e atomi freddi
Laboratori di radiometria e informazione quantistica.
Laboratorio di Quantum Sensing
Laboratorio di analisi di superfici e spettroscopia vibrazionali
Laboratorio di metrologia alimentare
Laboratori di Radiochimica presso il Dipartimento di Chimica Generale dell'Università di Pavia
Laboratori presso il LENA (Laboratorio di Energia Nucleare Applicata) presso l'Università di Pavia
Laboratori schermati per la metrologia elettrica in bassa frequenza e per la taratura di campioni e strumenti.
Laboratori per i campioni quantistici di resistenza e tensione
Misure di potenza ed energia elettrica a frequenza industriale.
Realizzazione e caratterizzazione di dispositivi superconduttori a film sottile.
Laboratori per i campioni fotometrici e colorimetrici, tra i quali il campione primario di intensità luminosa.
Radiometria nell'ultravioletto.
Camera oscura con controllo climatico presso il laboratorio di goniofotometria.
Laboratori di radiometria criogenica fino a 40 mK.
Spettro-goniofotometria dei materiali.

Appendice 6: Acronimi

ACAE	<i>Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche</i>
ACCREDIA	<i>Ente italiano di accreditamento</i>
ARPA	<i>Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente</i>
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CCAUV	<i>Comité Consultatif de l'Acoustique, des Ultrasons et des Vibrations</i>
CCEM	<i>Comité Consultatif pour l'Electricité et le Magnetisme</i>
CCL	<i>Comité Consultatif des Longueurs</i>
CCM	<i>Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées</i>
CCPR	<i>Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie</i>
CCQM	<i>Comité Consultatif pour la Quantité de Matière – Métrologie en chimie</i>
CCT	<i>Comité Consultatif de Thermométrie</i>
CCTF	<i>Comité Consultatif du Temps et des Fréquences</i>
CdA	<i>Consiglio di Amministrazione</i>
CEI	<i>Comitato Elettrotecnico Italiano</i>
CEN	<i>Comitato Europeo di Normazione</i>
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i>
CGPM	<i>Conférence Générale des Poids et Mesures</i>
CIGRE	<i>Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques</i>
CIPM	<i>Comité International des Poids et Mesures</i>
CIRP	<i>International Academy for Production Engineering</i>
CMC	<i>Calibration and Measurement Capabilities</i>
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CNR	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
CRUM	<i>Centro di Riferimento di Ultrasuoni in Medicina</i>
CS	<i>Consiglio Scientifico</i>
EA	<i>European co-operation for Accreditation</i>
EFTF	<i>European Frequency and Time Forum</i>
EMPIR	<i>European Metrology Programme for Innovation and Research</i>
EMRP	<i>European Metrology Research Programme</i>
ENEA	<i>Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente</i>
ENEA-INMRI	<i>Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes</i>
GMEE	<i>Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche – Associazione italiana</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HITU	<i>High Intensity Therapy Ultrasound</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>
IMEKO	<i>International Measurement Confederation</i>
IMGC	<i>Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del CNR</i>
INFN	<i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</i>
IRMM	<i>Institute for Reference Materials and Measurements (Geel, Belgio)</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISPRA	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (già APAT)</i>
ISS	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
ITS-90	<i>International Temperature Scale 1990</i>
ITU-R	<i>International Telecommunication Union – Radiocommunications</i>
JRP	<i>Joint research project</i>
KC	<i>Key Comparison</i>

<i>LOVAG</i>	<i>Low Voltage Agreement Group</i>
<i>MESAP</i>	<i>Meccatronica e sistemi avanzati di produzione</i>
<i>MRA</i>	<i>Mutual Recognition Arrangement</i>
<i>MIUR</i>	<i>Ministero dell'Università e della Ricerca</i>
<i>NIST</i>	<i>National Institute of Standards and Technology, USA</i>
<i>NMI</i>	<i>National Metrology Institute</i>
<i>PMI</i>	<i>Piccola Media Impresa</i>
<i>PoliTo</i>	<i>Politecnico di Torino</i>
<i>PRIN</i>	<i>Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale</i>
<i>RSPP</i>	<i>Responsabile Servizio Prevenzione e Protezione</i>
<i>SC</i>	<i>Supplementary Comparison</i>
<i>SGQ</i>	<i>Sistema di Gestione per la Qualità</i>
<i>SI</i>	<i>Système International d'Unités</i>
<i>TPE</i>	<i>Tempo Pieno Equivalente</i>
<i>UE</i>	<i>Unione Europea</i>
<i>UNI</i>	<i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione / Ente Nazionale di Unificazione</i>
<i>UTC</i>	<i>Coordinated Universal Time</i>