

# **RELAZIONE CONSUNTIVA DI ATTIVITÀ SCIENTIFICA 2020**

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

Approvata dal Consiglio di Amministrazione  
in data 30 aprile 2021



## INDICE

Premessa .....	5
<b>PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte.....</b>	<b>7</b>
<b>1 – L’ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA: LA MISSIONE, L’ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA, L’ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE .....</b>	<b>9</b>
1.1 - LA MISSIONE.....	9
1.2 - L’ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA.....	10
1.3 - L’ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE.....	11
<b>2 – RESOCONTO TRASVERSALE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG) .....</b>	<b>15</b>
<b>4 – IL GRUPPO DI LAVORO PER L’OPEN SCIENCE (OS) .....</b>	<b>16</b>
<b>5 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE .....</b>	<b>17</b>
<b>6 – LE RISORSE DI BILANCIO .....</b>	<b>25</b>
<b>7 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA .....</b>	<b>27</b>
7.1 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY PROGRAMME FOR INNOVATION AND RESEARCH (EMPIR).....	27
7.2 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN) .....	28
7.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE .....	31
7.4 - LIFT/IQB - LINK ITALIANO FREQUENZA E TEMPO / ITALIAN QUANTUM BACKBONE.....	34
7.5 - NANOFACILITY PIEMONTE.....	35
7.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET) .....	37
7.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA).....	39
<b>8 – IL QUADRO DELLE COLLABORAZIONI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA.....</b>	<b>41</b>
8.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI.....	42
8.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI.....	45
<b>9 – LE ATTIVITA’ E I RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2020 .....</b>	<b>50</b>
9.1 - RICERCA E SVILUPPO (R&S) .....	50
9.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO (NMI) .....	55
9.3 - KNOWLEDGE TRANSFER (KT) .....	58
9.4 – IL PANORAMA DEI PRODOTTI 2020 DELL’INRIM .....	63
<b>10 – LE PUBBLICAZIONI .....</b>	<b>66</b>
<b>11 – I SERVIZI ATTIVITA’ CONTO TERZI .....</b>	<b>70</b>
<b>12 – I PROGETTI .....</b>	<b>73</b>
<b>13 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE .....</b>	<b>80</b>
13.1 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: L’UFFICIO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO (UTT) .....	80
13.2 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: ATTIVITA’ DI SUPPORTO AD ACCREDIA .....	82
13.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA.....	84
13.4 - ATTIVITÀ DI COINVOLGIMENTO CULTURALE E SOCIALE: IL PUBLIC ENGAGEMENT.....	85
13.5 - L’ ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE.....	89
<b>PARTE 2 – Schede di attività .....</b>	<b>91</b>
<b>1 – LA DIREZIONE SCIENTIFICA .....</b>	<b>93</b>
1.1 – IL DIRETTORE SCIENTIFICO, IL CONSIGLIO DI DIREZIONE, LE DIVISIONI E I SETTORI SCIENTIFICI OMOGENEI.....	93
1.2 – IL SETTORE INTERDIVISIONALE COORDINAMENTO E DIVULGAZIONE SCIENTIFICA.....	95
1.3 – LE RISORSE UMANE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA .....	101
1.4 – LA DISTRIBUZIONE DELLE RISORSE UMANE PER TIPOLOGIA DI ATTIVITA’ .....	102
1.5 – LE DIVISIONI .....	105

<b>Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita</b> .....	105
<b>Divisione Metrologia applicata e ingegneria</b> .....	129
<b>Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie</b> .....	160
<b>Appendice 1: Struttura organizzativa dell'INRiM</b> .....	183
<b>Appendice 2: I progetti</b> .....	185
<b>Appendice 3: Convenzioni con altri Istituti e Università</b> .....	192
<b>Appendice 4: Laboratori principali</b> .....	196
<b>Appendice 5: Acronimi</b> .....	199

## **TABELLE**

Tabella 1 - Progetti formativi attivati nel 2020 .....	17
Tabella 2 - Dettaglio dei corsi erogati per il II Livello .....	18
Tabella 3 - Dettaglio dei corsi erogati per il III Livello .....	21
Tabella 4 - Dettaglio dei corsi in materia di salute e sicurezza dei lavoratori erogati .....	22
Tabella 5 – Quadro delle collaborazioni 2020 per tipologia .....	41
Tabella 6 - Mappatura dei settori metrologici INRiM .....	42
Tabella 7 - INRiM – CMC .....	43
Tabella 8 – Sintesi delle pubblicazioni nel periodo 2018-2020 suddivise tra R&S, NMI e KT .....	63
Tabella 9 – Distribuzione delle pubblicazioni 2020 nelle Divisioni (R&S, NMI e KT) .....	63
Tabella 10 – Progetti, attività servizi conto terzi e altri prodotti .....	64
Tabella 11 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica .....	65
Tabella 12 – Pubblicazioni 2018-2020 .....	66
Tabella 13 – Distribuzione delle pubblicazioni 2020 nelle Divisioni .....	67
Tabella 14 – Documenti servizi conto terzi emessi nel quadriennio 2017- 2020 .....	70
Tabella 15 – Distribuzione, per tipologia, dei progetti attivi nel 2020 .....	73
Tabella 16 – Attività supporto all'accreditamento laboratori 2020 .....	82
Tabella 17 – Attività di Alta Formazione svolte nel 2020 .....	89
Tabella 18 – Attività di Formazione Permanente svolte nel 2020 .....	90
Tabella 19 - Personale TI e TD (al 31/12/2020) .....	101
Tabella 20 – Distribuzione del personale TI nelle Divisioni (al 31/12/2020) .....	101
Tabella 21 – Distribuzione del personale TD nelle Divisioni (al 31/12/2020) .....	101
Tabella 22 – Personale non strutturato (al 31/12/2020) .....	101
Tabella 23 – Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni .....	102
Tabella 24 - Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni: strutturati e non strutturati .....	103
Tabella 25 – Progetti EMPIR (3 <sup>a</sup> call) avviati nel 2017 .....	185
Tabella 26 – Progetti EMPIR (4 <sup>a</sup> call) avviati nel 2018 .....	185
Tabella 27 – Progetti EMPIR (5 <sup>a</sup> call) avviati nel 2019 .....	186
Tabella 28 – Progetti EMPIR (6 <sup>a</sup> call) avviati nel 2020 .....	187
Tabella 29 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2020 .....	188
Tabella 30 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2020 .....	189
Tabella 31 - Progetti di ricerca Regionali e Fondazioni attivi nel 2020 .....	190
Tabella 32 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2020 .....	190

## Premessa

Questa relazione annuale presenta i risultati conseguiti dall'INRiM nel 2020, in ottemperanza a quanto previsto dall'articolo 7, comma 4, lettera f dello Statuto, che stabilisce che il Consiglio di Amministrazione *“delibera, previo parere del Consiglio Scientifico, la relazione annuale dell'attività svolta, verificando il raggiungimento degli obiettivi del PTA adottato nell'anno precedente”*.

La stesura del documento è orientata secondo la suddivisione delle attività nelle tre classi descritte nelle “Linee Guida ANVUR per la gestione integrata del Ciclo della Performance degli Enti Pubblici di Ricerca”, pubblicate da ANVUR a luglio 2015, ovvero:

- Ricerca Scientifica
- Ricerca Istituzionale
- Terza Missione

Il documento è costituito dalle due seguenti sezioni:

**Parte I – Elementi generali e sintesi delle attività svolte**, dove sono descritti - oltre alla missione, all'assetto organizzativo e alla struttura scientifica dell'Istituto - le attività svolte nel 2020 in ambito scientifico e i risultati ottenuti, con particolare riguardo agli highlights delle Divisioni e ai prodotti dell'INRiM (pubblicazioni, prodotti Servizi Conto Terzi e di Terza Missione);

**Parte II – Schede di attività**, che contiene la presentazione più dettagliata delle attività scientifiche delle Divisioni e i contributi dei Settori Scientifici Omogenei (SSO) che le compongono.

Nelle Appendici sono invece riportati in dettaglio la struttura organizzativa dell'INRiM, i progetti e le convenzioni di collaborazione attivi nel 2020, i laboratori dell'Istituto.



# **PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte**



# **1 – L'ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA: LA MISSIONE, L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA, L'ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE**

## **1.1 - LA MISSIONE**

L'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) è un Ente pubblico nazionale istituito con D. Lgs. del 21 gennaio 2004 n. 38. L'INRiM nasce nel 2006, dalla fusione dell'Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti del CNR (IMGC) e dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), istituti di lunga tradizione con consolidate e profonde competenze nei campi della metrologia e della scienza dei materiali. La missione, i compiti e le funzioni dell'Istituto sono definiti dal decreto istitutivo n. 38/2004 e dallo Statuto dell'ente, in vigore dal 1° marzo 2018.

L'INRiM svolge e promuove la ricerca nell'ambito della metrologia, sviluppa i campioni ed 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 e mantiene i campioni nazionali per le unità di misura necessari per la riferibilità e il valore legale delle misure nei settori dell'industria, del commercio, della ricerca scientifica, della salvaguardia della salute e dell'ambiente, nonché per le necessità di misura in campo giudiziario e per qualsiasi altro settore in cui gli alti contenuti scientifico-tecnologici propri della ricerca metrologica trovino ricadute applicative di interesse. L'INRiM inoltre valorizza, diffonde e trasferisce conoscenze e risultati nella scienza delle misure e nella ricerca sui materiali allo scopo di favorire lo sviluppo tecnologico nazionale e il miglioramento della qualità della vita e dei servizi per il cittadino.

Partecipa come membro ai lavori degli organismi tecnici della Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) contribuendo a definire le strategie e i programmi di ricerca a lungo termine della metrologia internazionale; aderisce alla European Association of National Metrology Institutes (EURAMET e.V.), organizzazione costituita dagli Istituti metrologici nazionali d'Europa per la cooperazione nelle attività della metrologia.

Svolge i compiti derivanti dalla firma dell'accordo internazionale di mutuo riconoscimento (CIPM-MRA), tra le Nazioni firmatarie, dei campioni nazionali di misura e della validità dei certificati di taratura, misura e prova emessi dagli Istituti metrologici primari nazionali.

Attraverso accordi specifici, svolge anche la funzione di centro di studi e ricerche a sostegno della metrologia legale e in generale alle attività svolte dal sistema camerale.

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 trasferisce conoscenze e risultati della ricerca allo scopo di favorire lo sviluppo del Paese nelle sue varie componenti.

L'INRiM ha una posizione peculiare rispetto agli istituti metrologici europei: in virtù della sua collocazione all'interno del Sistema nazionale della ricerca, è chiamato a misurarsi con gli altri enti pubblici di ricerca sul piano dell'eccellenza scientifica e, nel contempo, è chiamato dalla legge a svolgere la propria missione di Istituto metrologico primario, al fine di accompagnare e sostenere lo sviluppo tecnologico del Paese.

In un contesto altamente dinamico, l'Ente è chiamato a rafforzare il proprio ruolo, in un percorso di crescita strategica al servizio del Paese, ed intende farlo sia investendo in risorse umane altamente qualificate, sia consolidando l'elevata capacità di autofinanziamento che deriva dai servizi resi alle imprese e dai progetti di ricerca in partenariato con altre istituzioni europee.

## **1.2 - L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA**

L'assetto organizzativo dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica prevede i seguenti organi e strutture, come definito nello Statuto ai sensi del D. Lgs. n. 218 del 25/11/2016:

### **Organi di Indirizzo politico-amministrativo:**

Presidente

Consiglio di Amministrazione

### **Organi di indirizzo scientifico:**

Consiglio Scientifico

Direttore Scientifico

Direzione Scientifica

### **Organi di Controllo:**

Collegio dei Revisori

Il modello strutturale di organizzazione e funzionamento (riportato in dettaglio nell' Appendice 1) si articola in:

**Direzione generale**, per la gestione amministrativa, per l'organizzazione delle risorse umane dell'ente e per la gestione dei Servizi tecnici, ad esclusione di quanto di competenza della Direzione scientifica; la Direzione generale opera sotto la diretta responsabilità del Direttore generale;

**Direzione scientifica**, per il coordinamento, la programmazione e lo svolgimento delle attività tecnico-scientifiche dell'Ente; è composta dal Direttore scientifico (preposto al coordinamento delle attività svolte nelle Divisioni), e dal Consiglio di Direzione (di cui fanno parte il Direttore Scientifico, i Responsabili delle Divisioni e un pari numero di membri eletti);

**Divisioni**, per lo svolgimento dei programmi tecnico-scientifici.

Sulla base della nuova articolazione delle strutture tecnico scientifiche, in vigore a partire dal 1° gennaio 2019, le tre Divisioni 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.*

*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 contribuisce, con le proprie specifiche competenze, alle tre missioni dell'Istituto.

L'intera struttura organizzativa dell'INRiM è disponibile anche nella sezione "L'Ente" del portale [www.inrim.it](http://www.inrim.it) (alla pagina <https://www.inrim.it/lente/governo-e-organizzazione>) oppure utilizzando la sezione "Amministrazione Trasparente" (<https://www.inrim.it/amministrazione-trasparente/organizzazione>).

### **1.3 - L'ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE**

L'INRiM ha sede nella città metropolitana di Torino e ha in Strada delle Cacce 91 la sua sede legale e il sito operativo principale, mentre in Corso M. D'Azeglio 42 si trova la sede storica che fu dello IEN.

Altre strutture dell'Istituto sono dislocate presso l'Università di Pavia (Dip. di Chimica, dove l'INRiM ha acquisito, in concessione, alcuni locali destinati ad attività scientifiche) e a Sesto Fiorentino presso il LENS (European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy) e il CNR, dove alcune unità di personale svolgono la loro attività avendo a disposizione un certo numero di locali e laboratori (in parte ad uso esclusivo, in parte in condivisione con il personale degli enti ospitanti).

La sede principale dell'INRiM è situata nel quartiere Mirafiori Sud, in un campus di 130 000 m<sup>2</sup>, un'area verde all'interno del parco Colonnetti che ospita gli uffici e i laboratori dell'Istituto. Il campus è composto da 13 edifici fuori terra e da una struttura completamente interrata (galleria), che sviluppano nel loro complesso una superficie utile di 37.000 m<sup>2</sup>. La proprietà dell'intera area è del Comune di Torino e il diritto di superficie scadrà nel 2077. 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. Nel 2020 importanti lavori di trasformazione hanno interessato la palazzina un tempo dedicata all'officina centralizzata e alle manutenzioni, e ora destinata ad ospitare un importante laboratorio di ricerca costituito da oltre 400 mq di "Camera pulita".

La sede storica di Corso Massimo D'Azeglio (al confine con il parco del Valentino, nel quartiere San Salvario) ha una superficie di 11.000 m<sup>2</sup>, dedicati a numerosi uffici e laboratori, oltrechè alla Biblioteca Storica. Qui svolgono la loro attività, all'interno del Laboratorio alte tensioni e forti correnti (LATFC), alcune unità di personale dell'INRiM; alcuni locali invece sono stati concessi in "locazione" all'Università di Torino mentre altri in "comodato d'uso" al Politecnico di Torino.

## 2 – RESOCONTO TRASVERSALE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA

Il 2020 è stato caratterizzato dal forte impatto della pandemia mondiale, dovuta alla malattia da coronavirus (COVID-19), sulle attività correnti, pandemia che ha richiesto misure di contenimento e mitigazione senza precedenti nella storia recente. L'Istituto ha seguito le indicazioni delle amministrazioni nazionali e regionali per il mantenimento e la gestione delle attività scientifiche nell'emergenza, con una particolare attenzione alla salute dei lavoratori e della collettività. Durante tutto il 2020, si sono alternati periodi di lavoro agile straordinario, che hanno interessato la stragrande maggioranza del personale, con periodi in cui si è potuto ridare avvio alle attività scientifiche e tecniche in presenza, ma sempre garantendo i servizi essenziali per il Paese. Certamente si tratta di una circostanza storica particolarmente impegnativa per tutti i lavoratori, anche dal punto di vista psicologico, con responsabilità aggiuntive per chi è coinvolto nelle attività di protezione e prevenzione. Va dato atto a tutto il personale di aver affrontato questa situazione con serietà e determinazione, cercando di riprendere le attività in presenza non appena compatibili con il quadro delle indicazioni nazionali. Certamente questa esperienza ha insegnato che ci saranno importanti cambiamenti sulle priorità future della ricerca scientifica e sulle modalità delle relazioni lavorative. In questo senso, gli istituti metrologici mondiali hanno dato prova di mettere le loro competenze al servizio del bene comune: si veda la sezione *Metrology in the fight against Covid-19* sul sito del BIPM, alla quale anche l'INRiM ha dato il suo contributo con uno studio il cui report (dal titolo *CCQM-P199b: SARS-CoV-2 RNA copy number quantification*) è stato sottomesso come draft nel 2020; si prevede di concludere lo studio nel 2021, con la pubblicazione della versione finale.

Nonostante il contesto non semplice, ma proprio per rimarcare l'intenzione di rilanciare le attività scientifiche in vista delle sfide future, l'Istituto ha deciso di produrre nel corso del 2020 due Piani Triennali di Attività (PTA), in particolare uno per il periodo 2020-2022 ed un secondo per il periodo 2021-2023. Questa scelta, inusuale rispetto al passato, ha lo scopo di riuscire ad approvare il PTA 2021-2023 prima dell'inizio del triennio di riferimento, in modo da mettere enfasi sull'aspetto programmatico del PTA stesso. Infatti è molto importante restituire al PTA il significato di documento chiave per definire il percorso per raggiungere gli obiettivi scientifici e tecnici dell'Istituto, tenendo conto delle risorse disponibili, delle condizioni al contorno, delle attività da intraprendere e dei tempi necessari per realizzarle. Viceversa i PTA approvati al termine del primo anno del triennio di riferimento, come succede ancora per il PTA 2020-2022 per continuità con il passato, rischiano di riportare molte informazioni consolidate relative all'anno in corso, configurandosi più come un consuntivo mascherato piuttosto che un reale documento di tattica, per l'implementazione della strategia decennale dell'Istituto. In questo senso, il PTA deve essere invece uno strumento di tattica, ossia un metodo di lavoro per conseguire degli obiettivi definiti dal documento di visione decennale. Inoltre l'indicazione degli obiettivi scientifici dell'Istituto aiuta anche la Direzione Generale a preparare di conseguenza il Piano della *performance* (art. 10 c. 1 lett. a d.lgs. 150/2009), che deve essere stilato entro il 31 gennaio di ogni anno.

L'Istituto ha approvato a luglio 2020 il nuovo documento decennale di visione strategica (<https://www.inrim.it/vision>). Questo documento è il frutto di un lungo ed articolato percorso, che ha coinvolto tutte le anime dell'Istituto ed ha ricevuto una forte connotazione strategica da parte del Presidente. Il documento di visione sottolinea l'importanza della metrologia per l'industria, la società e la scienza in generale, con una particolare attenzione alla sfida rappresentata dalla disseminazione del nuovo Sistema Internazionale (SI) delle unità di misura. Nella traduzione operativa dei suoi principi ispiratori, il documento di visione evidenzia sei aree strategiche che dovranno ricevere particolare attenzione nei prossimi PTA:

- monitorare l'ambiente e supportare lo sviluppo di tecnologie pulite;
- promuovere la conversione sostenibile dell'energia ed il suo immagazzinamento pulito;

- sostenere la qualità della vita e della salute;
- accelerare la trasformazione digitale e supportare le relative transizioni industriali;
- sviluppare la tecnologia per le applicazioni spaziali e la relativa ricerca;
- migliorare la qualità e l'impatto della ricerca scientifica fondamentale.

Nel documento di visione, ciascuno dei temi precedenti viene sviluppato con esempi concreti di attività in essere da potenziare e di attività nuove da avviare. Il documento di visione strategica è allineato con il Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027 (PNR 2021-2027), approvato a settembre 2020, con cui il Ministero dell'Università e della Ricerca intende mettere in moto una programmazione strategica partecipata e dinamica per contribuire allo sviluppo sostenibile della società e dare risposte anche alle istanze emergenziali. Nel prospetto di seguito, sono stati evidenziati i chiari punti di sinergia tra gli ambiti strategici del PNR 2021-2027 e le sei aree prioritarie del documento decennale di visione strategica di INRiM.

Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027		
<b>AMBITO #5: Clima, Energia, Mobilità sostenibile</b>	<b>AMBITO #1: Salute</b>	<b>AMBITO #4: Digitale, Industria, Aerospazio</b>
1. Monitoring the environment and support the development of clean technologies 2. Supporting sustainable energy conversion and clean storage	3. Supporting the quality of life and health	4. Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions 5. Developing technology for space applications and research
<b>PRIORITÀ #3: Consolidare la ricerca fondamentale</b> 6. Improving the quality and impact of fundamental scientific research		
<b>PRIORITÀ #1: Promuovere la dimensione internazionale dell'Alta Formazione e della Ricerca → Horizon Europe → European Metrology Partnership (EMP) 2021-2027</b>		



Al fine di prepararsi per l'implementazione della visione strategica decennale dell'Istituto, tenuto conto che le sei aree strategiche di cui sopra erano già state consolidate, è stato predisposto il "Bando interno degli investimenti 2020". Vista la rilevanza dell'iniziativa, il Presidente ha ritenuto doveroso coinvolgere una serie di Organi dell'Istituto in questa procedura, tra cui il Consiglio di Direzione (CdD), il Consiglio Scientifico (CS) ed il Consiglio di Amministrazione (CdA). Il bando ha coinvolto le Divisioni dell'Istituto, che sono state chiamate a formulare due proposte ciascuna, di cui, auspicabilmente ma non necessariamente, almeno una avrebbe potuto coinvolgere un'altra Divisione (proposta inter-divisionale). Tali proposte sono state raccolte dai Responsabili di Divisione, commentate da esperti esterni (rappresentativi delle tre missioni dell'Ente ed appartenenti ad aree tecnico-scientifiche diverse), valutate mediante un punteggio quantitativo dal CdD ed infine vagliate dal CdA fino al limite della dotazione economica disponibile. Il CdD ha provveduto a preparare una relazione tecnica, in cui sono stati raccolti tutti i commenti degli esperti esterni e le considerazioni tecniche proprie della Direzione Scientifica. Si è trattato di un percorso impegnativo dal punto di vista delle tempistiche, ma che ha consentito di raccogliere molti elementi utili, non solo per questa iniziativa. Nel prossimo triennio 2021-2023, come illustrato nel relativo PTA, si porrà molta attenzione all'attuazione di questo bando degli investimenti ed alla sua valutazione ex-post, in modo che possa essere la base per future iniziative di scelta strategica.

Un altro atto di indirizzo della Direzione Scientifica nel 2020 ha riguardato la nomina, congiuntamente

con la Direzione Generale, del Gruppo di Lavoro *Open Science*, finalizzato alla promozione della Scienza Aperta. Uno strumento concreto per avviare questo processo è la nuova *Policy* di Istituto sull'Accesso Aperto, che è stata preparata dal gruppo di lavoro. La Scienza Aperta promuove una ricerca responsabile e di qualità, collaborativa e trasparente in tutti i suoi stadi - dalla produzione dei risultati alla validazione, disseminazione e valutazione degli stessi – grazie alla condivisione della conoscenza sempre più immediata e ampia resa possibile dalle tecnologie digitali. Fare scienza aperta moltiplica le opportunità di analisi, validazione e riutilizzo dei risultati della ricerca scientifica, favorendone la riproducibilità e l'interdisciplinarietà e accelerandone il progresso. Potenziare l'accessibilità dei risultati della ricerca - sotto forma di pubblicazioni, dati e *software open source* - valorizza e preserva il patrimonio culturale scientifico, crea le condizioni per una scienza più inclusiva ed equa, può facilitare il trasferimento tecnologico. Inoltre la Scienza Aperta contribuisce al raggiungimento degli obiettivi 10 e 17 dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, che mirano a ridurre le disuguaglianze e la partnership degli obiettivi, rendendo fruibili a tutti i risultati della ricerca.

Tra le modalità con cui rendere fruibili i risultati della ricerca, c'è sicuramente anche la Terza Missione dell'Istituto mediante le attività di valorizzazione economica della ricerca. Al fine di promuovere queste attività, la costituzione di un Ufficio di Trasferimento Tecnologico (UTT) coordinata da un Funzionario di Trasferimento Tecnologico (TTO – *Technology Transfer Officer*) è avvenuta all'inizio del 2020. L'intenzione è di rilanciare la Terza Missione, non assente in INRiM ma lasciata primariamente all'iniziativa individuale senza coordinamento, supporto e promozione centrale. Per sua natura, questa iniziativa si colloca a metà fra le Direzioni Scientifica e la Direzione Generale, e la composizione mista dello UTT riflette questa natura.

### 3 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG)

Il Comitato Unico di Garanzia (CUG) dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica è stato costituito con il DDG n. 213/2019 349 del 20/12/2019 e, ai sensi della normativa, è a servizio di tutto il personale operante nell'Istituto, con mandato di quattro anni. Si compone di tre membri di nomina sindacale e di tre membri nominati dal Direttore Generale, nel rispetto della parità di genere; a ciascun membro effettivo è affiancato un supplente.

Il riferimento interno di avvio delle attività del CUG INRiM per il 2020 è il PAP 2019-2021, redatto in ottemperanza al D.Lgs 198/2006 "Codice delle pari opportunità tra uomo e donna", allo scopo di produrre programmi, azioni concrete e iniziative tese a prevenire ogni forma di discriminazione e a rimuovere gli ostacoli alla piena ed effettiva parità di opportunità.

In un contesto pandemico senza precedenti, che ha costretto alla ridefinizione delle modalità lavorative e organizzative ordinarie, dal punto di vista operativo occorre sottolineare che il CUG INRiM è stato impegnato nel 2020 contemporaneamente nelle seguenti attività:

- redigere il proprio Regolamento di Funzionamento (approvato con Deliberazione del CdA INRiM n. 44/2020/7 del 13 ottobre 2020);
- avviare l'attuazione di iniziative relative alle funzioni istituzionali per il quale è stato costituito.

Coerentemente con i suoi compiti di natura propositiva, consultiva e preventiva sulle materie di competenza e di verifica (secondo quanto previsto dal Regolamento di Funzionamento e dal PAP, ai sensi della Direttiva emanata dai Dipartimenti della Funzione Pubblica e per le Pari Opportunità del 4 marzo 2011), le azioni 2020 del CUG hanno avuto la seguente natura:

- azioni di insediamento e *start-up* ai fini del proprio funzionamento;
- azioni di *networking*;
- azioni di tutela nell'ambito dell'organizzazione dell'Istituto;
- azioni di supporto e sostegno;
- azioni di formazione e informazione.

Per questi fini nel corso del 2020 il CUG si è riunito in sedute ordinarie e in sedute operative per Commissioni (prima in presenza e poi a distanza) con cadenza pressoché mensile in relazione ai seguenti ambiti:

- redazione e approvazione del Regolamento per la composizione, le funzioni e le modalità di funzionamento del CUG per le pari opportunità, la valorizzazione di chi lavora e contro le discriminazioni valutazione delle modalità di gestione e implementazione delle restrizioni operative nel periodo acuto dell'emergenza, con particolare riferimento alle istanze relative al benessere del personale;
- supporto all'iniziativa sul tema "prevenzione rischi pandemie";
- analisi delle condizioni e delle misure di sicurezza e tutela del personale per il riavvio della piena operatività, conseguente al periodo di restrizioni governative in atto nei mesi di marzo e aprile 2020;
- contributo all'organizzazione delle fasi del rientro al lavoro in sede, seguente il periodo di operatività limitata causato dalle predette restrizioni, nell'ottica dell'implementazione a regime del lavoro agile per mezzo di un'adeguata regolamentazione;
- avvio, ai fini operativi, conoscitivi e pubblicitari, di iniziative di *networking* "interno" (con unità amministrative dell'Ente, sindacali e per la sicurezza dell'Istituto) ed "esterno" (con altri CUG e organi simili regionali e nazionali, oltre che con le Consigliere di Parità Regionale e della Città Metropolitana);
- rielaborazione del PAP per il triennio 2020-22, in linea con gli obiettivi operativi del CUG (di primo insediamento) e ipotesi di finanziamento di talune attività per mezzo di progetti;
- strutturazione di sottogruppi di lavoro (Commissioni) relativamente alle iniziative a sostegno di genitorialità e linguaggio di genere;

- divulgazione delle attività per mezzo di idonei strumenti messi a disposizione dell'Amministrazione dell'Ente (intranet, portale web, comunicazione diretta per mezzo di indicazioni e cartellonistica relative a procedure e protocolli);
- analisi di criticità segnalate a vario titolo e livelli dal personale dell'Istituto, trattate in via confidenziale.

#### **4 – IL GRUPPO DI LAVORO PER L'OPEN SCIENCE (OS)**

La Scienza Aperta promuove una ricerca responsabile e di qualità, collaborativa e trasparente in tutti i suoi stadi - dalla produzione dei risultati alla validazione, disseminazione e valutazione degli stessi – grazie alla condivisione della conoscenza sempre più immediata e ampia resa possibile dalle tecnologie digitali. Fare scienza aperta moltiplica le opportunità di analisi, validazione e riutilizzo dei risultati della ricerca scientifica, favorendone la riproducibilità e l'interdisciplinarietà e accelerandone il progresso. Potenziare l'accessibilità dei risultati della ricerca - sotto forma di pubblicazioni, dati e software open source - valorizza e preserva il patrimonio culturale scientifico, crea le condizioni per una scienza più inclusiva ed equa, può facilitare il trasferimento tecnologico. L'INRiM intende dare un forte impulso alla cultura e alla pratica della Scienza Aperta da parte della sua comunità.

A questo scopo è stato istituito nel 2020 il Gruppo di lavoro Open Science, a cui è assegnato il compito di definire proposte alle Direzioni dell'Ente in merito alle politiche di promozione, sensibilizzazione e sostegno all'apertura delle pubblicazioni scientifiche, dei dati e del software.

Il Gruppo di lavoro OS, coordinato da un Ricercatore dell'Ente, è composto da personale scientifico e personale tecnico-amministrativo dell'INRiM, con specifiche competenze nel campo della ricerca e della sua valutazione, dell'informatica e della biblioteconomia; opera in sinergia con le U.O. dell'Amministrazione e della Direzione Scientifica dedicate al supporto alla ricerca e al trasferimento tecnologico, alla valutazione e ai servizi informatici, avvalendosi, ove necessario, di professionalità aggiuntive.

Il Gruppo di lavoro OS si propone di svolgere i seguenti compiti:

- formulare proposte per l'attuazione del principio dell'Accesso aperto;
- intrattenere rapporti con le istituzioni esterne che promuovono l'Accesso aperto;
- provvedere alla stesura, alla revisione e all'aggiornamento della Policy Open Access (POA) e delle linee guida operative;
- curare il deposito, la validazione, la gestione dei diritti e la pubblicazione dei prodotti nell'Archivio Istituzionale;
- predisporre linee guida operative di ausilio alle Autrici e agli Autori e supportarli nella gestione dei diritti d'autore;
- formulare proposte in merito all'Archivio Istituzionale dell'INRiM, al fine di renderlo più performante rispetto alle richieste Open Access provenienti da istituzioni nazionali ed europee;
- definire e supportare le attività per la promozione e il sostegno alla pubblicazione ad accesso aperto;
- definire e supportare le iniziative di formazione e sensibilizzazione sull'accesso aperto;
- curare il monitoraggio dello stato di attuazione della policy;
- suggerire linee guida per la sottoscrizione di contratti editoriali di abbonamento a risorse bibliografiche di interesse per INRiM in accordo con i principi Open Access Open Science.

Nel 2020 le attività del Gruppo di lavoro OS si sono concentrate sui seguenti obiettivi:

- stesura della Policy per l'Accesso Aperto dell'Istituto;
- stesura della Policy sulla gestione dei dati della ricerca (ancora in corso);
- stesura delle Linee guida sul software per i dati della ricerca (ancora in corso);

- aggiornamento dell'Archivio Istituzionale per le pubblicazioni, al fine di renderlo compatibile con le richieste open access provenienti dalla CE e in ambito nazionale da ANVUR;
- organizzazione di incontri formativi per il personale, dedicati al tema dell'Open Science e volti a informare/sensibilizzare la comunità dell'INRiM (da svolgersi nel 2021).

## 5 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE

Il Piano della Formazione 2020-2022 è stato approvato nella seduta del Consiglio di Amministrazione del 25/02/2020 con delibera n. 9/2020/2.

A copertura delle attività formative, a favore del personale, previste dal Piano nel suo secondo anno di applicazione, è stato deliberato un investimento strategico di 100 k€ a cui si sommano i 50 k€ per la formazione di I livello già stanziati per il 2019.

La progettazione delle attività formative per il 2020 ha quindi tenuto conto da una parte dei risultati ottenuti dall'analisi delle attività predisposte nell'anno precedente, delle richieste avanzate dai Responsabili di Divisione e delle Unità Organizzative, e dall'altra delle scelte strategiche definite a inizio anno nel Piano della Performance 2020 - 2022.

Il Piano della Formazione 2020-2022, in linea con il precedente, prevede che le iniziative formative siano sviluppate su tre diversi livelli:

- I livello: competenze manageriali e di alta specializzazione;
- II livello: competenze tecnico-specialistiche;
- III livello: competenze generali trasversali.

Durante il periodo di lockdown, conseguente all'emergenza sanitaria che ha investito il Paese, è nato un progetto congiunto con gli altri Enti di ricerca, promosso dal CODIGER: ogni Ente, anche attraverso i propri dipendenti che si sono resi disponibili nella veste di docenti, ha messo a disposizione degli altri EPR webinar formativi su tematiche varie.

Nello stesso periodo alcune società ed editori hanno fornito formazione gratuita sotto forma di webinar a partecipazione libera.

Nella tabella seguente è riportato il riepilogo dei progetti formativi attivati, all'interno dei livelli, nell'anno 2020.

**Tabella 1 - Progetti formativi attivati nel 2020**

<b>Livello</b>	<b>Progetto Formativo</b>
<b>I</b>	A. Programma intensivo di sviluppo manageriale
<b>II</b>	A. Sviluppo delle competenze gestionali
	B. Aggiornamento normativo e professionale specifico
	C. Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche
	D. Innovazione Digitale

III	A.	Linguistico
	B.	Informatico
	C.	Aggiornamento normativo: elementi di base
	D.	Piano di Azioni Positive
	E.	Soft Skills

Sono di seguito riportati solo i corsi di formazione erogati al personale della Direzione Scientifica, che riguardano i seguenti progetti formativi:

- Progetto sviluppo delle competenze gestionali (5 corsi)
- Progetto sviluppo delle competenze tecnico specialistiche (32 corsi)
- Progetto Linguistico (1 corso)
- Progetto Informatico (3 corsi)
- Progetto Soft Skills (1 corso)

Nelle tabelle successive sono riportati i dettagli dei corsi effettuati nell'anno dal personale, rispettivamente per il II Livello e il III Livello, suddivisi per i progetti di afferenza. Ogni tabella riporta il nome del corso, le modalità di erogazione, la durata, le unità di personale (UdP) partecipanti, il nome del formatore e il costo complessivo.

**Tabella 2 - Dettaglio dei corsi erogati per il II Livello**

<b>Progetto formativo: SVILUPPO DELLE COMPETENZE GESTIONALI</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Accountability	In house - a distanza	12	6	PRAXI	3.250
Costruire presentazioni efficaci	In house - a distanza	12	12	PRAXI	3.250
INTRANET - FORMAZIONE PER I REFERENTI PARTE 1	Interno - a distanza	8	17	A. Gerace- G. Aprile	110,74(*)
INTRANET - FORMAZIONE PER I REFERENTI PARTE 2	Interno - a distanza	2	10	A. Gerace- G. Aprile	15,50(**)
Time management	In house - a distanza	12	15	PRAXI	3.250

**Progetto formativo: SVILUPPO DELLE COMPETENZE TECNICO SPECIALISTICHE**

<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Accreditamento dei laboratori di prova e taratura secondo la nuova Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018	A catalogo - a distanza	25	1	ACCREDIA	-
APRE Webinar presentazione il Bando MSCA individual Fellowship (IF)	A catalogo	4	1	APRE	100
Auditor di Terza Parte Sistema di Gestione Qualità secondo la UNI EN ISO 9001:2015. – Corso riconosciuto AICQ-SICEV	A catalogo	30	3	AICQ - Skillab	3.000
Biobanche, l'accreditamento secondo la norma UNI ISO 20387 prima edizione	A catalogo - a distanza	1	1	ACCREDIA	-
Biobanche, l'accreditamento secondo la norma UNI ISO 20387 seconda edizione	A catalogo - a distanza	1	1	ACCREDIA	-
Concetti base di acustica, fonometri type 2250 e 2270, esempi di misura	A catalogo - a distanza	1	1	HBK Hotting Bruel & Kjaer	-
Concetti base Python	A catalogo - a distanza	1	6	GARR	-
Corso FES base Mod. 01 – Introduzione alla Fire Safety Engineering	A catalogo - a distanza	4	1	Associazione PREVENZIONE INCENDITALIA	40
Corso introduttivo su programmazione Python	A catalogo - a distanza	9	1	CODIGER	-
Corso Python base	A catalogo - a distanza	1	9	GARR	-
Design for Six Sigma	A catalogo - a distanza	1	1	IEEE	-
Enterprise Blockchain for the Internet of Things	A catalogo - a distanza	1	1	IEEE	-
Fundamentals of Metrology and Measurement Science	A catalogo - a distanza	1	1	IEEE	-
HORIZON EUROPE: 4 passi verso l'inizio	A catalogo - a distanza	8	2	APRE	800
Introduction to Measurement Uncertainty	A catalogo - a distanza	2	1	NPL	-

Introduction to Silicon Nitride PICs	A catalogo - a distanza	9	2	ePIXfab - Università di Ghent	600
Introduzione ai Big Data	A catalogo - a distanza	4	1	CODIGER	-
La calibrazione: definizione, importanza e benefici	A catalogo - a distanza	1	1	HBK Hotting Bruel \$ Kjaer	-
Measurement Uncertainty Explained	A catalogo - a distanza	2	1	NPL	-
Modellazioni acustiche in COMSOL Multiphysics	A catalogo	12	1	COMSOL	300
Open Science dalla Aalla Z	A catalogo - a distanza	8	6	CODIGER	-
Python per Data Science	A catalogo - a distanza	1	6	GARR	-
Research Data Management and Open Access Publishing	A catalogo - a distanza	15	2	Politecnico di Torino	-
Research Data Management e Open Data	A catalogo - a distanza	8	2	APRE	400
Shibboleth IdP v3 è End Of Life! e ora?	A catalogo - a distanza	4,5	1	GARR	-
Solidworks allineamento delle competenze	Interno	10	4	D. Corona	200,69
Technical Writing for Scientists and Engineers	A catalogo - a distanza	1	1	IEEE	-
The Basics of Finite Element Method	A catalogo - a distanza	1	1	IEEE	-
Understanding and Evaluating Measurement Uncertainty	A catalogo - a distanza	2	1	NPL	-
Uso del software Kubernetes	A catalogo - a distanza	3	2	GARR	-
Verso la nuova norma ISO/IEC 17025 2017: cambiamenti e adeguamento	Interno - a distanza	1,5	26	A. Leka	20,52
Wacom e SetUP ottimizzato per la scrittura digitale	A catalogo - a distanza	1	1	REKORDATA	-

**Tabella 3 - Dettaglio dei corsi erogati per il III Livello**

<b>Progetto formativo: LINGUISTICO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Lingua Inglese Scientifico	In House/parzialmente - a distanza	40 in presenza 10 e-learning su piattaforma Moodle	15	UNITO	6.200 Il corso, iniziato nel 2019 e terminato nel 2020, insiste su Budget 2019
<b>Progetto formativo: SOFT SKILLS</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
L'intelligenza emotiva nelle organizzazioni	A catalogo-a distanza	3	1	CODIGER	-
La comunicazione efficace online	A catalogo-a distanza	4,5	1	GARR	-
La ricerca in un'ottica di genere	A catalogo-a distanza	2	1	CODIGER	-
<b>Progetto formativo: INFORMATICO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Excel	A catalogo-a distanza	16	1	CODIGER	-

Il Piano della Formazione prevede due modalità di erogazione della formazione:

- richiesta di formazione specifica (PULL), avanzata dal singolo dipendente o dai referenti/responsabili ad ogni livello;
- proposta di programmi di formazione sistemici (PUSH), avanzati dalle Direzioni (Generale e Scientifica) a cui, a seconda dei casi, i dipendenti sono chiamati a partecipare obbligatoriamente, volontariamente o, eventualmente, su specifica selezione.

L'emergenza sanitaria che ha investito il nostro Paese a partire dalla fine del mese di febbraio ha imposto una ridefinizione delle attività e una riprogettazione della modalità di erogazione della formazione, che hanno inizialmente rallentato l'avvio di nuovi corsi.

In un primo periodo, data l'evoluzione imprevedibile dell'emergenza, è stata privilegiata la formazione in modalità PULL, incentivata anche dal progetto congiunto con gli altri Enti di ricerca, promosso dal CODIGER. I programmi formativi in modalità PUSH hanno avuto una realizzazione solo nell'ultimo trimestre dell'anno e sono ancora in corso, in diversi casi saranno effettuati nei primi mesi del 2021.

Il crescente numero di richieste di formazione in modalità PULL (50 nel 2019 e 87 nel 2020) indica un aumento

di attenzione per la formazione.

Il Piano della Formazione comprende anche la formazione obbligatoria, la cui spesa è imputata sul budget dedicato; data la natura particolare dei corsi, la sua gestione è deputata al Servizio di Prevenzione e Protezione.

La UO Sviluppo Risorse Umane e il Servizio di Prevenzione e Protezione nel corso dell'anno 2020 hanno provveduto ad uniformare le procedure di gestione.

Il Servizio di Prevenzione e Protezione ha inoltre, avviato la valutazione del gradimento dei corsi.

In tabella 4 è riportato il dettaglio dei corsi in materia di salute e sicurezza dei lavoratori, attivati nell'anno 2020.

**Tabella 4 - Dettaglio dei corsi in materia di salute e sicurezza dei lavoratori erogati**

<b>Progetto formativo: FORMAZIONE ALL'INGRESSO IN ISTITUTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione dei lavoratori ex art. 37 c.4 D.Lgs. 81/08	In presenza	2	24	Servizio Prevenzione e Protezione	-
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE GENERALE DEI LAVORATORI</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	4	27	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO BASSO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	4	3	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO MEDIO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	8	30	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO BASSO - AGGIORNAMENTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	6	47	AWARELAB	*

<b>Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO MEDIO - AGGIORNAMENTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	6	154	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE PARTICOLARE DEI PREPOSTI</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	8	31	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE PARTICOLARE DEI PREPOSTI AGGIORNAMENTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	6	82	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE ADDETTI AL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE – MODULO A</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Corso base per lo svolgimento della funzione di RSPP e ASPP Formazione Addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	catalogo – a distanza	28	3	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE ADDETTI AL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE – MODULO B COMUNE</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Corso base per lo svolgimento della funzione di RSPP e ASPP – Modulo B comune per tutti i settori produttivi	catalogo – a distanza	50	5	AWARELAB	*
Formazione Addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016					
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE DEI RAPPRESENTANTI DEI LAVORATORI PER LA SICUREZZA - AGGIORNAMENTO</b>					

<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Aggiornamento della formazione dei Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	8	5	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE DEI DIRIGENTI PER LA SICUREZZA - AGGIORNAMENTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Aggiornamento della formazione dei Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	catalogo – a distanza	8	3	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE OBBLIGATORIA DEL SERVIZIO DI PROTEZIONE - AGGIORNAMENTO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Corso di aggiornamento per lo svolgimento della funzionedi RSPP e ASPP ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	catalogo – a distanza	8	18	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE OBBLIGATORIA DEI LAVORATORI - RISCHIO DA AGENTI FISICI</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08	catalogo – a distanza	4	17	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE DEL RESPONSABILE E DEGLI ADDETTI AL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE - L'ERGONOMIA COME STRUMENTO PER PREVENIRE IL RISCHIO BIOMECCANICO</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Corso di aggiornamento per lo svolgimento della funzionedi RSPP e ASPP ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	catalogo – in aula	4	1	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE DEL RESPONSABILE E DEGLI ADDETTI AL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE -INTRODUZIONE ALLA FIRE SAFETY ENGINEERING</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>

Corso di aggiornamento per lo svolgimento della funzionedi RSPP e ASPP ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	catalogo – a distanza	4	1	AWARELAB	*
<b>Progetto formativo: FORMAZIONE DEL RESPONSABILE E DEGLI ADDETTI AL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE - CORONAVIRUS E BUSINESS CONTINUITY</b>					
<b>Corso</b>	<b>Modalità</b>	<b>Durata [ore]</b>	<b>UdP</b>	<b>Formatore</b>	<b>Costo [€]</b>
Corso di aggiornamento per lo svolgimento della funzionedi RSPP e ASPP ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	catalogo – a distanza	4	17	IGEAM	

## 6 – LE RISORSE DI BILANCIO

I ricavi dell'esercizio sono riassunti nella seguente tabella.

Valore della produzione	Anno 2020
1 Ricavi e proventi per l'attività istituzionale	2.314.134
2 Variazioni delle rimanenze di prodotti in corso di lavorazione, semilavorati e finiti;	-
3 Variazioni dei lavori in corso su ordinazione;	-
4 Incrementi di immobilizzazioni per lavori interni	-
5 Altri ricavi e proventi, con separata indicazione dei contributi in conto esercizio	27.992.393
<b>Totali</b>	<b>30.333.527</b>

I ricavi dell'attività istituzionale sono costituiti dall'attività di prove e tarature oltre ai proventi derivanti da contratti per la realizzazione di contratti di ricerca industriale, dettagliati come segue:

- Proventi da attività di certificazione: euro 1.386.276
- Proventi da ricerche commissionate: euro 954.858

Rispetto all'esercizio precedente, l'aumento dei ricavi per ricerche commissionate compensa una riduzione di circa il 10% sui proventi dallo svolgimento di attività di certificazione, motivata dal rallentamento dell'attività di prove e tarature causato dall'emergenza pandemica.

La voce "Altri ricavi e proventi con separata indicazione dei contributi in c/e" risulta essere così composta:

Descrizione	2020
Altri ricavi e proventi	4.000.845
Trasferimenti correnti da MIUR (FOE)	19.918.826
Trasferimenti correnti da MIUR (valenza internazionale)	1.250.000
DM. 294 14/7/2020 – Fondo emergenze COVID (contributi c/e)	112.503
Trasferimenti correnti da altri Ministeri	36.392
Proventi da ricerche con finanziamenti competitivi da EURAMET	1.252.749
Proventi da ricerche con finanziamenti competitivi	1.396.213
Contributi agli investimenti	24.865
<b>Totale</b>	<b>27.992.393</b>

Per un dettaglio circa la composizione delle singole voci si rimanda alla Nota integrativa al bilancio consuntivo.

Per quanto concerne invece i costi della produzione, gli stessi risultano così suddivisi:

Costi della produzione	Anno 2020
Materie prime, sussidiarie, di consumo e merci	1.221.991
Costi per servizi	5.979.753
Costi per godimento di beni di terzi	427.027
Spese per il personale	14.498.376
Ammortamenti e svalutazioni	4.186.846
Variazioni delle rimanenze di materie prime, sussidiarie di consumo e di merci	-
Accantonamenti per rischi	-
Altri accantonamenti	1.548.363
Oneri diversi di gestione	1.043.828
<b>Totale</b>	<b>28.906.183</b>

I costi di esercizio risultano complessivamente aumentati dell'1,9% rispetto al 2019. Gli aumenti più significativi si registrano sulle spese per il personale e sugli ammortamenti, che compensano invece una riduzione sui costi per servizi.

A questi si aggiungono 9.552 euro di proventi e oneri finanziari e 935.836 euro di imposte sul reddito dell'esercizio.

Complessivamente, nell'esercizio 2020 è stato conseguito un **utile** pari a **501.060 euro**.

Per quanto concerne invece gli **investimenti**, nell'anno 2020 si evidenzia un cospicuo investimento nelle attrezzature informatiche sia per attività del personale amministrativo che per le attività del personale addetto alla ricerca, per un totale di 333.224 euro. Tale investimento è stato funzionale al corretto avvio della modalità di lavoro agile concesso alla quasi totalità del personale INRiM a seguito della proclamazione dello stato di emergenza epidemiologica nazionale.

Quanto alle Attrezzature Scientifiche il valore del patrimonio, rispetto al 2019, si incrementa di 6.300.793 euro di cui estremamente rilevanti e strategici per l'Istituto sono quelli attinenti al completamento delle infrastrutture di ricerca IMPreSA e PiQuET, cofinanziate al 50% dalla Regione Piemonte attraverso il bando INFRA-P.

## **7 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA**

### **7.1 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY PROGRAMME FOR INNOVATION AND RESEARCH (EMPIR)**

*Obiettivi:* integrazione europea e finanziamento della ricerca metrologica.

EURAMET (European Association of National Metrology Institutes) è la rete europea per la promozione della collaborazione per la ricerca e lo sviluppo tecnologico nel campo della metrologia. Non dispone né realizza infrastrutture proprie, ma promuove l'utilizzo comune, coordinato e sinergico delle infrastrutture metrologiche nazionali. Nella prospettiva di convergenza della metrologia europea in una struttura integrata, l'obiettivo dell'INRiM è creare opportunità per la realizzazione in Italia di un istituto metrologico sempre più rilevante integrato nella realtà europea.

EURAMET gestisce il 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 programma EMPIR promuove la ricerca e lo sviluppo nel campo della scienza delle misure (anche per applicazioni nei settori emergenti dell'energia, ambiente e salute) per l'integrazione dei laboratori nazionali e l'innovazione di prodotti e processi di produzione. Tale programma è finanziato dagli stati nazionali e dalla comunità europea. Sono consorziati gli istituti metrologici e gli istituti delegati alla funzione di istituto metrologico di 37 stati europei (circa 120 istituti).

INRiM coordina la partecipazione italiana al programma EMPIR. 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€, finanzia 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 a 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.

#### *Attività svolta*

INRiM partecipa attivamente ad EURAMET ed a tutti i suoi organismi operativi. Esprime un rappresentante nel Board of Directors, nel comitato EMPIR, nel sub-comitato ricerca, e partecipa a tutti i Comitati tecnici di propria competenza. Inoltre INRiM partecipa a vario titolo nei nascenti organismi denominati European Metrology Network.

Personale INRiM ha lavorato per lo sviluppo e l'approvazione della partecipazione italiana alla nuova proposta di European Metrology Partnership (art 185 del trattato di Lisbona, legato a Horizon Europe) che dovrebbe partire nel 2021, e che prevede un cospicuo cofinanziamento da parte degli stati aderenti al programma. La partnership sulla metrologia è attualmente in fase di definizione finale presso la commissione europea. La EMP vedrà nuove tematiche affiancarsi ad altre già presenti nel programma EMPIR. Tra queste segnaliamo il forte peso che avrà la tematica green deal, lo sforzo per la creazione di nuove infrastrutture metrologiche europee nonché l'introduzione della tematica digitalizzazione della metrologia.

#### *Risultati ottenuti*

Nell'ambito del programma europeo di ricerca EMPIR, ricercatori INRiM hanno partecipato alle varie fasi della formulazione di progetti di ricerca sulle tematiche previste per il 2020 (Industry, Fundamental Metrology e Normative) ottenendo finanziamenti su 16 progetti (di cui 4 coordinati da ricercatori INRiM) per oltre 3M€, a questa cifra va aggiunto il finanziamento ottenuto da altri istituti di ricerca e industrie italiane sempre su progetti EMPIR legati alla metrologia (oltre 1M€).

Il coinvolgimento di INRiM nella nascente partnership è stato incrementato percentualmente rispetto al precedente programma EMPIR.

## **7.2 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)**

Nel corso del 2020, l'INRiM ha contribuito allo sviluppo delle attività relative a cinque delle European Metrology Networks (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.

Le EMN infatti si propongono di analizzare i bisogni di 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 rappresenteranno il punto di riferimento per i rispettivi specifici ambiti metrologici fornendo informazioni, contribuendo ai processi di regolamentazione e standardizzazione, promuovendo la creazione e la diffusione della scienza delle misure.

Le European Metrology Networks a cui partecipa l'INRiM sono le seguenti:

### **EMN QUANTUM TECHNOLOGIES**

La *EMN for Quantum Technologies (EMN-Q)* è coordinata 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. La EMN-Q concentrerà i propri sforzi su attività coerenti con gli obiettivi della EC Quantum Flagship europea e con le necessità industriali che si paleseranno, fornendo un efficace contributo allo sviluppo delle tecnologie quantistiche europee.

Nel corso del 2020 la EMN-Q ha cominciato a preparare la sua Strategic Research Agenda, sviluppando Roadmap coerenti con i "pillars" della EC Quantum Flagship all'interno delle sue tre sezioni (Quantum Clocks and Atomic Sensors; Quantum Electronics; Quantum Photonics). Queste Roadmap verranno presentate e discusse con la comunità che sviluppa le tecnologie quantistiche. La EMN-Q ha anche creato il suo Communication Working Group, che ha come obiettivo lo sviluppo del portale web della rete e della eventuale newsletter.

Inoltre, a giugno 2020, è stato inaugurato il progetto EMPIR 19NET02 "EMN-Quantum" (coordinato dall'INRiM) che ha come obiettivo finanziare la fase iniziale di sviluppo e di messa in piena operatività della EMN-Q.

### **EMN SMART ELECTRICITY GRIDS**

Le reti di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica svolgono un ruolo centrale nell'ambito dell'infrastruttura energetica. La qualità e la stabilità della fornitura elettrica sono sempre più condizionate dalla crescente connessione di impianti di generazione di energia da fonti rinnovabili e di sistemi di accumulo, rendendo necessari un accurato monitoraggio e una gestione controllata dei flussi di energia, con impiego di tecnologie digitali. La *European Metrology Network Smart Electricity Grids (EMN SEG)*, costituita da 21 enti tra istituti metrologici nazionali, istituti designati e università, riunisce gli esperti europei nel campo specifico della metrologia per le reti di trasmissione e distribuzione dell'energia. La EMN SEG si prefigge lo scopo di rispondere in modo coordinato ed esaustivo alle sfide metrologiche nello specifico campo e di massimizzare l'impatto delle attività di ricerca condotte congiuntamente tra i partners, in linea con le strategie e gli obiettivi europei in termini di utilizzo di energie rinnovabili, quali in particolare il miglioramento dell'efficienza della rete e la promozione della diffusione e della integrazione dei sistemi per le reti intelligenti.

Nel 2020 sono state avviate alcune attività previste dal progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzato al raggiungimento della piena operatività della EMN. In particolare è stata messa a punto una bozza di *Strategic Research Agenda (SRA)*, che identifica una serie di tematiche relative alle sfide da affrontare nell'arco dei

prossimi anni. Allo scopo di meglio indirizzare l'attività verso temi di interesse specifico per gli *stakeholders* (gestori di reti di trasmissione e distribuzione, costruttori di dispositivi e impianti, laboratori di taratura e prova, ecc..), a partire dalla bozza di SRA è stato messo a punto un questionario, che verrà fatto circolare all'interno di un gruppo *stakeholders* limitato, ma rappresentativo delle diverse realtà interessate. Con riferimento all'ottimizzazione e integrazione delle risorse degli istituti metrologici europei, sono state raccolte informazioni atte a fornire un quadro delle capacità di misura (CMC) degli NMI nell'ambito specifico, e delle CMC di cui si prevedono lo sviluppo e l'implementazione. E' stata inoltre svolta un'indagine tra gli NMI afferenti finalizzata al censimento del materiale didattico e formativo. E' infine in corso di messa a punto una piattaforma web per la disseminazione dei risultati della ricerca e lo svolgimento di attività specifiche di formazione.

## **EMN FOR CLIMATE AND OCEAN OBSERVATION**

La comprensione della portata e dell'impatto dei cambiamenti climatici è uno dei temi più critici e importanti al momento attuale, che richiede una collaborazione a livello globale. L'osservazione delle variabili climatiche essenziali (ECV) richiede misurazioni ripetute in lunghi intervalli temporali e elevate accuratezze, per poter discriminare e quantificare gli effetti imputabili ai cambiamenti climatici dalle normali fluttuazioni. In questo ambito, la metrologia può e deve dare il suo contributo per garantire la confrontabilità dei dati nel tempo e nello spazio, attraverso la documentata riferibilità ai campioni delle unità di misura di interesse.

Coordinata da NPL, la *EMN for Climate and Ocean Observation (COO)* 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).

Tra gli obiettivi principali dell'EMN si annoverano l'applicazione dei principi metrologici alle misure *in situ* e in remoto, la definizione e la messa in opera di opportune tecniche di misura e campioni di riferimento per garantire la riferibilità metrologica dei risultati delle misure *in situ* e delle osservazioni satellitari.

In questo contesto, l'INRiM si propone di fornire un contributo alla rete sia nel suo complesso, sia articolato nelle tre sezioni, mediante attività di servizi metrologici e disseminazione, partecipazione attiva alle iniziative della rete, rappresentanza negli organismi internazionali rilevanti ai temi di interesse della rete, mantenendo e rafforzando le collaborazioni con i vari *stakeholder* sia a livello nazionale sia a livello internazionale.

Una infrastruttura metrologica europea è fondamentale per poter fornire supporto alla comprensione a livello globale dei cambiamenti climatici e all'uso sostenibile degli oceani. Al fine di massimizzare l'impatto della rete e fornire un unico ed efficace punto di contatto nei settori di pertinenza, 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. Un'indagine dedicata a tutti i membri delle comunità attive nei settori del clima e delle osservazioni oceaniche ha permesso di identificare le necessità e le priorità.

Nel corso del 2020 sono stati organizzati eventi a carattere generale della rete, ai quali l'INRiM ha garantito una attiva partecipazione. Nei giorni 12 e 13 febbraio 2020 si è tenuta una serie di "*International Webinar on Metrology Needs for Climate and Ocean Observation*", articolati sulla base dei tre pilastri della rete e rivolti sia agli istituti metrologici sia agli *stakeholder*. Nei giorni 10 e 11 giugno 2020 è stata organizzata l'assemblea generale dell'EMN (*Annual General Meeting*).

L'INRiM ha presentato le attività della rete in eventi di rilevanza internazionale, quali il congresso internazionale MetroSea 2020. A livello nazionale, è proseguita l'attività di *networking*, mediante contatti con gli *stakeholder* e la condivisione delle informazioni sulle iniziative della rete.

L'INRiM ha garantito la rappresentanza negli organismi metrologici europei e internazionali per le grandezze di rilevanza per la rete, oltre alla partecipazione alle attività di *stakeholder* di rilevanza internazionale.

Nel 2020, al termine della consultazione con i vari *stakeholder*, è stato prodotto il documento "*European Metrology Network for Climate and Ocean Observation - Stakeholder Needs Review Report 2020*", alla cui stesura l'INRiM ha partecipato attivamente.

L'INRiM ha presentato un contributo orale sull'EMN al workshop internazionale MetroSea 2020, con coautori internazionali, tra cui la *chair* dell'EMN e la *chair* del pilastro Ocean.

Per quanto riguarda le attività di *networking* a livello nazionale, un risultato di particolare rilievo è la stipula di un accordo istituzionale con il MISE a supporto di Mirror Copernicus.

### **EMN FOR MATHEMATICS AND STATISTICS**

Gli obiettivi della *EMN for Mathematics and Statistics (Mathmet)* sono:

- 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, incentivando la collaborazione all'interno di progetti scientifici e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni, convegni dedicati e materiale didattico.
- ottemperare agli impegni previsti nell'ambito del progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della rete.
- svolgere attività di ricerca, formazione e consulenza sui temi di pertinenza della rete.

Nel contesto del progetto EMPIR 18NET05, l'INRiM ha partecipato alla selezione e consultazione dei principali utenti scientifici, accademici ed industriali della rete, alla redazione di una prima bozza di agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca e allo sviluppo di un sistema di gestione per assicurare la qualità dei dati e dei codici di calcolo rilasciati. Inoltre, a partire dalla sua costituzione, l'istituto ha ricoperto una posizione all'interno dello *steering committee* della rete, partecipando ai lavori del comitato stesso. Nell'ambito delle attività di formazione e disseminazione di competenza della rete, l'INRiM ha organizzato, in collaborazione col Politecnico di Torino, la seconda edizione del workshop "*Mathematical and Statistical Methods for Metrology*", che si terrà nella primavera 2021 in modalità virtuale. Inoltre, si è continuata l'attività di tutoraggio rivolta a studenti di vario livello e sono stati erogati diversi corsi di formazione. Sul piano della ricerca, sono state svolte numerose attività scientifiche e tecniche in ambito matematico, statistico e modellistico, censite nelle schede dei SSO sulla base dell'afferenza del personale coinvolto.

I risultati ottenuti nel 2020 sono i seguenti:

- avanzamento nelle attività del progetto 18NET05 (censimento stakeholders, agenda strategica, sistema di gestione per la qualità di software e dati).
- erogazione di corsi di formazione a contenuto matematico e/o statistico declinato in prospettiva metrologica.
- tutoraggio di studenti di vario livello, su tematiche di ricerca negli ambiti matematico, statistico e modellistico.
- sviluppo e validazione di nuovi strumenti di calcolo con cui eseguire esperimenti virtuali in diversi settori scientifici, e disponibilità dei relativi dataset di risultati.
- sviluppo di modelli statistici per la valutazione di conformità di oggetti multivariati.

### **EMN ON TRACEABILITY IN LABORATORY MEDICINE**

La *EMN on Traceability in Laboratory Medicine*, coordinata 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 della EMN.

Nel secondo anno di attività della EMN si è lavorato ulteriormente sulla gestione dei rapporti con gli Stakeholder 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.

Si è avviata l'organizzazione di tre gruppi di lavoro (focus groups) tra i membri della rete su tre temi:

- Prioritisation of measurands
- Development of a Survey for EQA Providers
- Communication: "Concept of Traceability" / Case Studies

La rete ha poi contribuito, su invito di EURAMET, a commentare il "draft workplan for Horizon Europe" sulle call Health, Food, Climate & Energy and Industry allo scopo di indicare quale topic, tra quelli individuati nelle varie call, fosse il più rilevante ed affine alle attività della rete e che contributo la rete possa dare alla preparazione delle singole call.

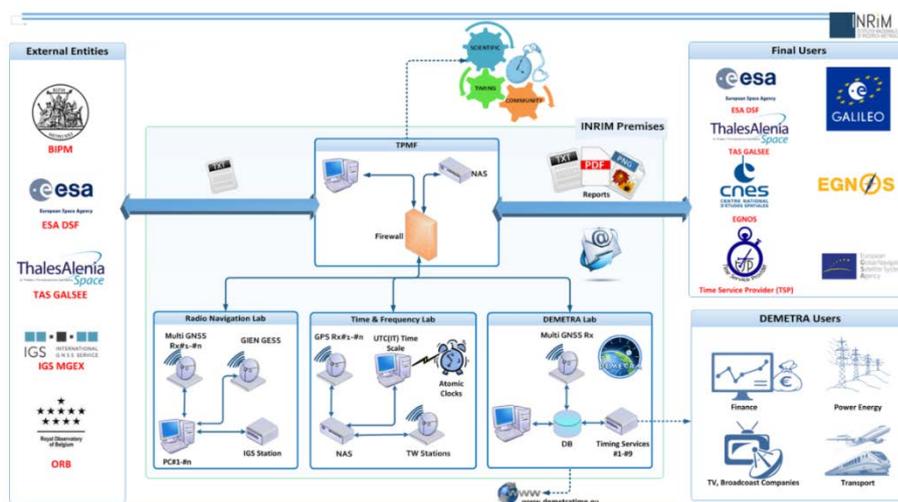
### 7.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE

L'INRiM partecipa da circa 20 anni allo sviluppo del sistema di navigazione satellitare europeo Galileo, grazie alle sue competenze di metrologia del tempo. Le competenze sviluppate in questo ambito, insieme a quelle maturate nella realizzazione della scala di tempo nazionale italiana, fanno dell'INRiM uno dei laboratori di riferimento in Europa per le attività legate ai sistemi di navigazione e allo spazio.

L'infrastruttura Galileo, sviluppata in INRiM, promuove le capacità di ricerca e lo sviluppo di tecnologie per applicazioni spaziali, in accordo con i Focal Points individuati nel documento decennale di Visione Strategica dell'INRiM (Documento di Vision 2020: *Metrology towards 2030*).

Tale infrastruttura costituisce:

- 1) una struttura di riferimento metrologico per la validazione e monitoring in tempo reale del segnale di Galileo, degli orologi di bordo e di terra, della scala di tempo di riferimento del sistema, e dell'informazione di ora esatta disseminata dai satelliti Galileo;
- 2) un incubatore e "test bed" per algoritmi, elementi di timing di terra e di bordo, servizi con dimostrazione e validazione end-to-end, l'aggiornamento tecnologico del sistema, lo sviluppo di applicazioni tecniche e scientifiche;
- 3) un centro di formazione e addestramento sia a livello scientifico (con un programma di Dottorato ed un Master di II livello del Politecnico di Torino), sia a livello industriale.



Architettura dell'infrastruttura Galileo dell'INRiM.

L'attività legata a tale infrastruttura e prevista per il triennio, si articola in programmi:

Definizione, operazione e miglioramento del sistema di timing di Galileo ed EGNOS

L'INRiM è responsabile degli aspetti scientifici del Galileo Time Service Provider, la principale infrastruttura di tempo di Galileo, dedicata alla sincronizzazione del tempo di Galileo con l'ora esatta internazionale. L'INRiM ha coordinato lo sviluppo dell'infrastruttura, che è ora operativa presso i centri di controllo di Galileo. In aggiunta, l'INRiM coordina gli istituti metrologici europei che contribuiscono al Galileo Time Service Provider e partecipa inviando regolarmente prodotti di riferimento basati sulla scala di tempo nazionale UTC(IT), che vengono utilizzati a livello di sistema per la generazione e per la validazione della scala di tempo di riferimento di Galileo.

Inoltre, l'INRiM supporta la valutazione delle prestazioni degli orologi di bordo e della scala di tempo di Galileo, e delle informazioni di tempo disseminate dai satelliti Galileo (nello specifico, la differenza fra il tempo di Galileo e l'ora esatta internazionale, e la differenza fra il tempo di Galileo ed il tempo GPS) nell'ambito di un contratto con Thales Alenia Space Italia e l'Agenzia Spaziale Europea. Opera dal 2006 presso il laboratorio di Radio Navigazione una Galileo Experimental Sensor Station, che contribuisce al sistema Galileo mediante l'invio regolare di prodotti in tempo reale (nell'ambito di un contratto con gmv e l'Agenzia Spaziale Europea).

Come contributo degli Stati Membri dell'UE, INRiM invia regolarmente al Galileo Reference Center di prodotti per la valutazione delle performance degli orologi spaziali di Galileo e prodotti di confronto fra il tempo disseminato da Galileo e la scala di tempo nazionale italiana, nell'ambito di un contratto con l'Agenzia Spaziale Francese e con l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare.

L'INRiM contribuisce anche alla validazione degli aspetti di timing di EGNOS - il sistema europeo di completamento al GPS - nell'ambito di un contratto con l'Agenzia Spaziale Francese e con l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare.

Infine, l'INRiM supporta lo sviluppo e la realizzazione di una soluzione basata su algoritmi in tempo reale con soluzioni hardware integrate, per la generazione di una scala di tempo robusta ed ultra-stabile - nell'ambito di un contratto con Thales Alenia Space Italia e l'Agenzia Spaziale Europea.



*L'INRiM collabora da 20 anni allo sviluppo del sistema satellitare europeo Galileo, grazie alle sue competenze di metrologia del tempo (Image: ESA).*

Studio e sperimentazione di servizi di disseminazione dell'ora esatta

INRiM ha coordinato nel 2015-2016 il progetto DEMETRA, progetto dell'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare. Con DEMETRA, l'INRiM ha realizzato il primo dimostratore europeo per la fornitura

di servizi di tempo basati sul segnale Galileo. Galileo infatti, oltre a fornire informazioni di posizione fornisce anche l'ora esatta che diffonde ai suoi utenti attraverso il messaggio di navigazione. Alcuni dei 9 servizi di tempo sperimentati sono attualmente attivi ed operativi presso INRiM, in particolare il servizio di disseminazione in fibra ottica grazie al quale INRiM fornisce il tempo alla Borsa Italiana.



*Con il progetto DEMETRA, l'INRiM ha realizzato il primo dimostratore europeo per la fornitura di servizi di tempo basati sul segnale Galileo.*

I finanziamenti ricevuti nel periodo 2015-2020 e già previsti per gli anni 2021 e 2022 sono indicati nella tabella seguente.

#### **Finanziamenti ricevuti nel quinquennio 2015-2020 e previsti per i prossimi anni**

<b>Anno</b>	<b>k€</b>
2015	2000
2016	2500
2017	900
2018	610
2019	750
2020	730
2021	530
2022	530

Per quanto riguarda le risorse umane, annualmente l'Ente dedica all' infrastruttura 48 mesi uomo all'anno di personale strutturato, più almeno 32 mesi uomo all'anno di personale non strutturato (PhD, Assegni, Borse).

## 7.4 - 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 2020, nonostante la pandemia abbia largamente fermato le attività sul territorio, LIFT/IDQ continua la collaborazione nell'iniziativa della Commissione Europea di una European Quantum Communication Infrastructure<sup>1</sup>. LIFT/IDQ inoltre continua a pubblicare i primi risultati su QKD e distribuzione di entanglement in collaborazioni internazionali con Austria, Malta, e Italia<sup>2</sup>. Inoltre, è stato completato il primo esperimento su IDQ che usa la tecnica di TF-QKD per scambiare chiavi quantistiche a lunga distanza (qui circa 200 km)<sup>3</sup>, sottomesso per pubblicazione. Questa tecnica permette la convergenza tra la distribuzione di segnali coerenti T/F e la QKD, garantendo un uso contemporaneo di IQB per queste due finalità.

Nel 2020 LIFT/IDQ vede pubblicati i primi risultati del collegamento fra i due maggiori radiotelescopi italiani a Medicina e Matera.<sup>4</sup> Le campagne di VLBI geodetico con "common clock" portato da IQB sono continuate nel 2020. 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), sottomessi per pubblicazione.

Nel 2020, 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. Sono stati potenziati i livelli di controllo e automazione, che permettono oggi un utilizzo dell'infrastruttura di ricerca per tempi estesi e in contemporanea a molti utenti, oltre alla compresenza di applicazioni differenti.

---

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-quantum-eu-countries-plan-ultra-secure-communication-network>

<sup>2</sup> S. Wengerowsky, et al., "Passively stable distribution of polarisation entanglement over 192 km of deployed optical fibre", *NPJ Quantum Information*, 6, 5 (2020)

<sup>3</sup> C. Clivati et al., "Coherent phase transfer for real-world twin-field quantum key distribution", *arXiv:2012.15199*

<sup>4</sup> C. Clivati, et al., "Common-clock very long baseline interferometry using a coherent optical fiber link", *Optica*, 7, 1031-1037 (2020)

## 7.5 - NANOFACILITY PIEMONTE

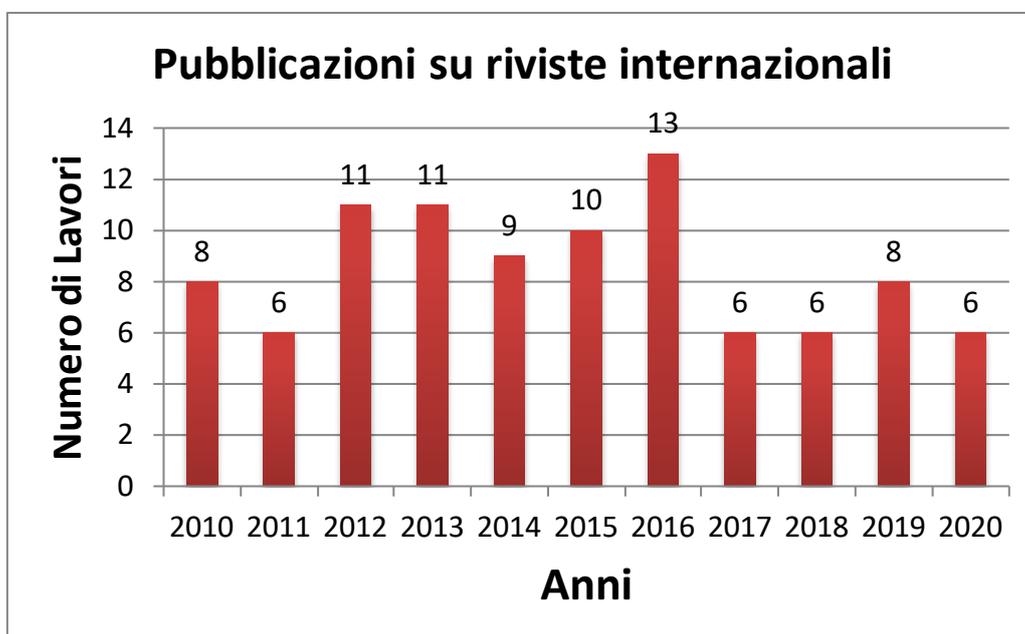
L'INRiM è tuttora uno dei due Istituti Nazionali di Metrologia in Europa, insieme al PTB, a possedere un proprio centro di micro e nanofabbricazione. L'istituto vanta una pluriennale esperienza nel campo della litografia, sia ottica che laser, nella nanolitografia a fascio elettronico e mediante self-assembly, nella crescita e deposizione di film sottili e nell'attacco chimico liquido e gassoso dei materiali.

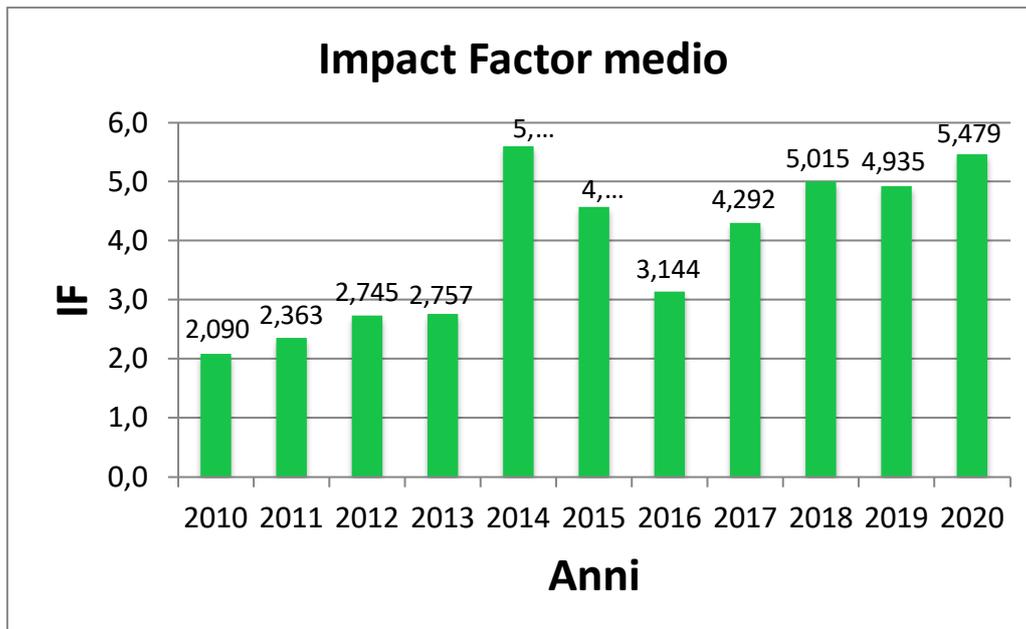
Grazie ad un contributo della Compagnia di San Paolo, dal gennaio 2010 è attivo il laboratorio Nanofacility Piemonte ([www.nanofacility.it](http://www.nanofacility.it)), dedicato alla nanofabbricazione mediante microscopia elettronica e ionica. La struttura tecnologica è aperta ai ricercatori di enti pubblici, accademici e del mondo industriale, e offre servizi avanzati per la ricerca nel campo della nanofabbricazione sulla base di collaborazioni scientifiche. 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 e in metrologia sul territorio, 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 metalenti, 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.

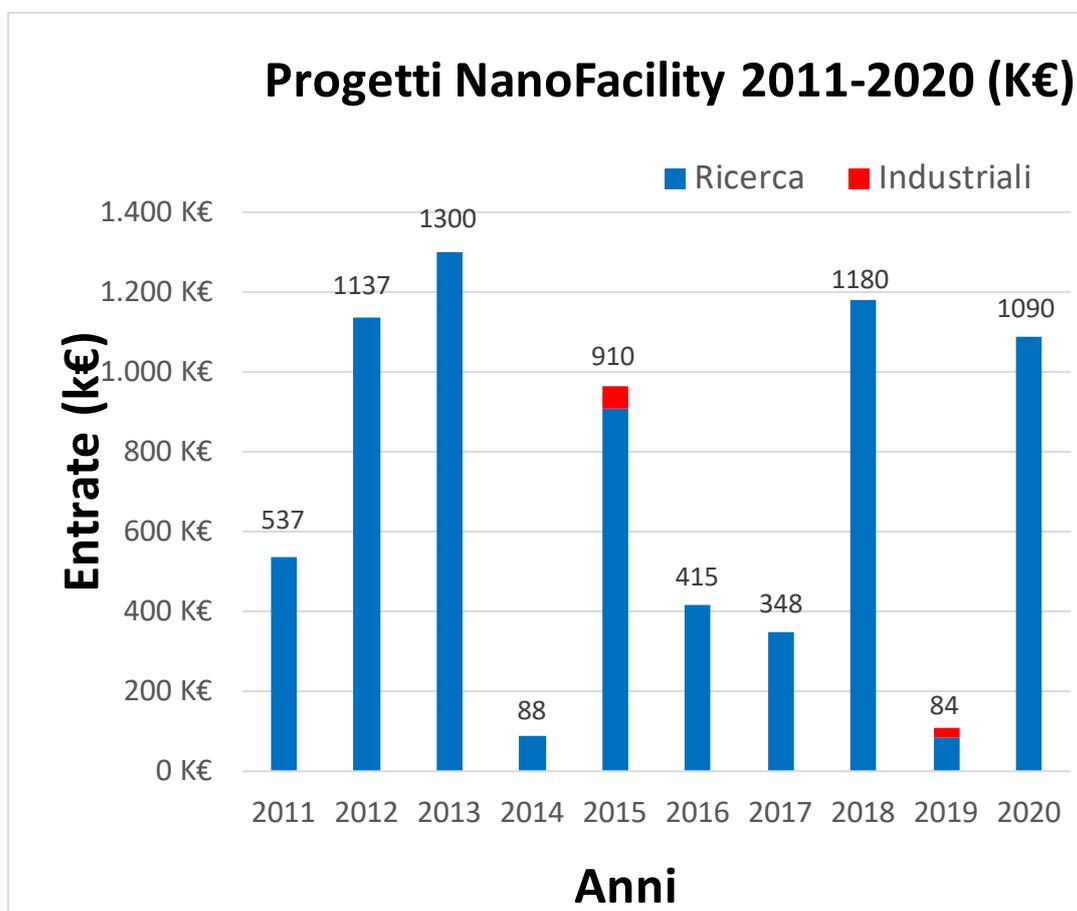
In questi ultimi anni, l'impegno del personale INRiM e delle risorse di micro e nanofabbricazione di Nanofacility nei progetti EMRP e EMPIR ha ottenuto un impatto di alto livello sulla comunità metrologica europea. Da questo, ne è conseguita una forte richiesta da parte dei principali NMI europei nella fabbricazione di dispositivi, modelli e campioni di riferimento alla nanoscala. Con l'evoluzione delle tematiche di ricerca, alcune attività del laboratorio si sono orientate su memristive switching per la computazione neuromorfica, gli standard quantistici di conduttanza e sui metamateriali e sulla generazione di singoli fotoni.

Alcuni indicatori: i successivi tre grafici riassumono alcuni indicatori significativi dell'impatto del laboratorio Nanofacility Piemonte INRiM nel corso del decennio 2010-2020. Il numero di pubblicazioni scientifiche internazionali che espressamente citano il laboratorio e la Compagnia di San Paolo, l'impact factor delle riviste su cui i manoscritti sono stati pubblicati, che è legato alla diffusione e alla citazione internazionale, e ai fondi che sono stati conseguiti mediante progetti nazionali ed europei che prevedevano l'utilizzo del laboratorio.





Il grafico seguente mostra le quote di tutti i progetti conseguiti dagli utenti della Nanofacility nei 10 anni di attività che hanno visto coinvolto il laboratorio.



## **7.6 - 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".

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 per la metrologia e le tecnologie quantum, che beneficia del polo di nano fabbricazione;
- con la collaborazione tra OdR e industria, favorendo nuova occupazione.

Lo sviluppo delle tecnologie quantistiche in PIQuET segue due linee fondamentali: 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 incorporerà principi quantistici più complessi, per potenziare e trasformare materiali e dispositivi finora prodotti.

PiQuET è un progetto interdivisionale per INRiM, 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 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 ha acquisito la camera pulita e 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.

Nel 2020, il progetto è stato completato, la camera pulita è stata terminata e tutte le attrezzature sono state collaudate. La camera pulita si compone di 400 m<sup>2</sup> in ambiente a controllo particellare (33 m<sup>2</sup> ISO5, 280 m<sup>2</sup> ISO6, 100 m<sup>2</sup> ISO7) e 200 m<sup>2</sup> circa in ambiente "grigio" per collocare le macchine tecniche (per es. sistemi di pompaggio per il vuoto) e svolgere manutenzioni. L'ambiente a controllo classificato è diviso in aree funzionalizzate: Tecnologie Quantistiche, Litografia Ottica, Litografia Elettronica, Deposizione, Etching, Packaging, Processi Chimici. Anche il "Trusted Node" è stato consegnato e regolarmente collaudato.

Il Politecnico di Torino ha acquisito e insedierà 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 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 2020, questo strumento è un'eccellenza in Italia ed è collocato all'INRiM dove sta dando i primi risultati sperimentali.

Nel corso del 2020, un gruppo di lavoro ha completato la proposta di documenti per la gestione dell'infrastruttura, mandati al vaglio degli uffici amministrativi di competenza delle tre istituzioni. Il gruppo di lavoro è formato da rappresentanti di Politecnico, Università e INRiM.

The image is a promotional graphic for quantum technologies. At the top, the text 'QUANTUM TECHNOLOGIES' is displayed. Below this, on the left, are logos for 'It-fab' (The Italian Network for Micro and Nano Fabrication) and 'PIQUET' (PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGY). The central part of the image shows a photograph of a modern, brightly lit industrial facility at night, and below it, a photograph of three people in white cleanroom suits standing next to a piece of complex machinery. On the right side, there is a map of Italy with several locations marked, including Pavia, Brescia, Bergamo, Mantova, Verona, Padova, Venezia, Trieste, Udine, Treviso, Vicenza, Bolzano, Trento, and Cagliari. Below the map, a vertical list of logos represents various partner institutions: IMM (Istituto per Microelettronica e Microsistemi), ESK (Fondazione ESK), polifab (Politecnico di Milano), CNR NANOTEC (Istituto di Nanotecnologia), INPHOTEC (Fondazione), INRiM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), Politecnico di Torino, and another INRiM logo at the bottom.

## **7.7 - 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.

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 (Istituto Zooprofilattico (IZSTO). Centro ricerca per l'enologia e viticoltura (CREA-VE) Istituto per la Prevenzione e la Salute delle Piante (IPSP-CNR) e Istituto di scienze delle produzioni alimentari (ISPA-CNR) sia dal punto di vista scientifico/tecnologico sia dal punto di vista finanziario, garantendo lo svolgimento del progetto e la verifica dei risultati ottenuti.

Per la realizzazione del progetto IMPreSA erano previsti l'adeguamento dei locali adibiti a laboratorio per ospitare l'infrastruttura e quattro procedure di acquisto di nuova strumentazione, rispettivamente:

- Spettrometro di massa ad alta risoluzione con plasma accoppiato induttivamente SP-ICP-HRMS
- Spettrometro a risonanza magnetica nucleare, NMR
- Spettrometro di massa liquida, LC-Ion Trap Orbitrap
- Spettrometro di massa per misura di abbondanze isotopiche EA-GC-IRMS

La progettazione, la direzione lavori e il coordinamento della sicurezza per i lavori edili sono stati affidati alla ditta Sital Impianti srl con procedura negoziata senza previa pubblicazione del bando in data 5 novembre 2019.

A causa della sospensione parziale dei lavori per l'adeguamento del progetto, della sospensione per l'emergenza sanitaria COVID-19, nel rispetto dei DPCM emanati, e delle tempistiche necessarie all'esecuzione della variante in corso d'opera, i lavori sono stati bloccati fino al 20 maggio 2020, giorno in cui sono ripartiti ufficialmente, e sono terminati nel mese di gennaio 2021.

Le attività hanno previsto:

- la demolizione delle mura, previa protezione degli spazi, e la realizzazione delle nuove murature
- la rimozione degli impianti pre-esistenti
- la realizzazione delle pavimentazioni e la tinteggiatura
- il montaggio dei serramenti e dei nuovi impianti
- la realizzazione della piattaforma del nuovo gas cabinet
- l'installazione dell'Unità di Trattamento dell'Aria
- l'installazione dell'UPS
- realizzazione dell'impianto di aria compressa
- l'installazione degli impianti elettrici
- sistemazione del bombolaio e della rete di adduzione dei gas tecnici dei laboratori
- la realizzazione dell'impianto di sicurezza e rilevazione ossigeno

Per quanto riguarda le procedure di acquisto della strumentazione, si è trattato di quattro procedure negoziate senza previa pubblicazione del bando.

La procedura relativa allo spettrometro di massa ad alta risoluzione con plasma accoppiato induttivamente SP-ICP-HRMS è terminata il 3 ottobre 2019 con la stipula del contratto di appalto con l'operatore economico

Thermo Fisher.

Lo strumento è stato consegnato nel mese di dicembre 2019, ma a causa delle restrizioni dovute all'emergenza sanitaria e allo slittamento dei lavori, è stato possibile procedere al collaudo tecnico e alla formazione solo nel mese di dicembre 2020.

La procedura relativa allo spettrometro a risonanza magnetica nucleare, NMR, è terminata il 24 dicembre 2019 con la stipula del contratto di appalto con l'operatore Bruker Italia srl. L'installazione e il collaudo dello strumento sono iniziati il 22 ottobre 2020 e hanno richiesto circa un mese di tempo, data la complessità dello strumento e la necessità di raffreddare il magnete con liquidi criogenici (azoto liquido che richiede il refill ogni due settimane ed elio liquido che richiede il refill una volta ogni 8/10 mesi).

La procedura relativa allo spettrometro di massa liquida, LC-Ion Trap Orbitrap, è terminata il 26 febbraio 2020 con la stipula del contratto di appalto con l'operatore economico Thermo Fisher. Lo strumento è stato consegnato il 26 giugno 2020, mentre l'installazione, il collaudo tecnico e la formazione sono avvenuti nella settimana dal 7 all'11 dicembre 2020. Da parte del partner CNR-ISPA è stato acquistato e installato il software Compound Discover che serve per l'analisi e l'identificazione di piccole molecole.

La procedura relativa allo spettrometro di massa per misura di abbondanze isotopiche EA-GC-IRMS, è terminata il 30 ottobre 2020 con la stipula del contratto di appalto con l'operatore economico Thermo Fisher. Lo strumento è stato consegnato il 14 dicembre 2020 e l'installazione con relativo collaudo tecnico e la formazione sono avvenuti nel mese di gennaio 2021.

La procedura relativa all'acquisto e all'installazione dell'AF4 (Asymmetric Flow Field-Flow Fractionation) separatore di micro e nano particelle in base alle dimensioni) era sotto la responsabilità del partner CREA-VE, e lo strumento è stato installato e collaudato nel mese di febbraio 2021 presso i locali di IMPreSA.

A valle dell'attività svolta descritta nel paragrafo precedente, i locali sono state adeguati alle esigenze del laboratorio e della strumentazione analitica e sono state installati e collaudati tutti gli strumenti previsti dal progetto IMPreSA, entro la scadenza prevista dal bando e prorogata da FinPiemonte a causa dell'emergenza sanitaria in corso.

Gli strumenti risultano essere conformi all'ordine e presentano le specifiche richieste.

L'amministrazione ha provveduto a saldare le fatture ai fornitori, a seguito delle relazioni scientifiche e i documenti di collaudo firmati dai rispettivi direttori di esecuzione del contratto.

## 8 – IL QUADRO DELLE COLLABORAZIONI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA

Nel 2020 l'INRiM ha avuto al suo attivo più di 300 collaborazioni consolidate attraverso la stipula di convenzioni o la partecipazione a comuni progetti di ricerca, nonché attraverso la produzione di pubblicazioni, brevetti, confronti internazionali o altri prodotti legati alla missione NMI dell'Istituto. Si auspica per il futuro di poter arrivare ad una definizione comune di "collaborazione", al fine di poter censire in modo omogeneo i dati relativi a ciascuna Divisione.

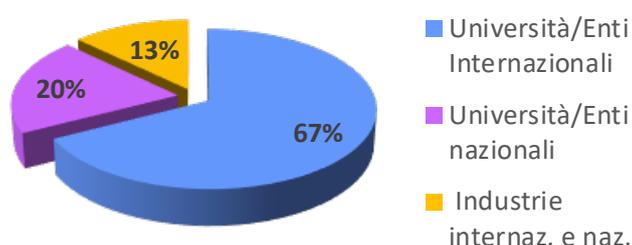
La tabella e il grafico che seguono rappresentano, in numeri e in percentuale, le collaborazioni attive nel 2020 per tipologia, distinguendo tra collaborazioni con Università ed enti internazionali, Università ed enti nazionali ed infine industrie internazionali e nazionali.

La tabella riporta il dato sulle collaborazioni distinguendo anche i tre ambiti a cui le collaborazioni si riferiscono, ovvero Ricerca e Sviluppo (R&S), National Metrology Institute (NMI) e Knowledge Transfer (KT).

**Tabella 5 – Quadro delle collaborazioni 2020 per tipologia**

Tipologia di collaborazione	R&S	NMI	KT	TOTALI
Università ed enti internazionali	168	36	17	221
Università ed enti nazionali	54	7	4	65
Industrie internazionali e nazionali	25	5	12	42
<b>TOTALI</b>	<b>247</b>	<b>48</b>	<b>33</b>	<b>328</b>

Il grafico evidenzia che una parte cospicua delle collaborazioni dell'Istituto si sviluppa sul versante internazionale.



*Distribuzione delle collaborazioni INRiM per tipologia.*

I principali interlocutori dell'INRiM sono descritti di seguito, prendendo in considerazione da un lato le relazioni con gli attori del panorama internazionale (sono compresi anche gli organismi "storici", che hanno contribuito alla definizione dell'Istituto come NMI), dall'altro le relazioni a livello nazionale (che comprendono anche le interazioni con i centri di eccellenza della realtà locale in cui l'Istituto è inserito).

Si noti che gran parte delle cooperazioni descritte a seguire rappresentano elementi di continuità nella storia dell'INRiM.

## 8.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI

L'INRiM è firmatario per l'Italia del *Mutual Recognition Arrangement (MRA)*<sup>5</sup>, redatto dal Comité International des Poids et Mesures (CIPM) in virtù del mandato ricevuto dagli Stati Membri, tra cui l'Italia, firmatari della Convenzione del metro (trattato internazionale firmato a Parigi il 20 maggio 1875 da 17 paesi, a cui ora aderiscono 59 stati). Il CIPM-MRA prevede il riconoscimento reciproco dei Campioni nazionali di misura e dei certificati di taratura emessi dagli Istituti Metrologici dei principali Paesi industrializzati. Ciò assicura al Paese l'equivalenza internazionale degli standard metrologici e, alle imprese italiane, la libera circolazione dei certificati emessi dai laboratori accreditati.

L'INRiM partecipa alle attività del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM) e dei relativi Comitati Consultivi (CC); in particolare l'Istituto partecipa, attraverso propri rappresentanti designati, a 9 dei 10 Comitati Consultivi del CIPM. La tabella seguente è la mappatura dei settori metrologici coperti dall'Istituto in riferimento ai settori individuati a livello internazionale (Comitati consultivi del CIPM).

**Tabella 6 - 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
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
		Vibration	AE
QM	Amount of substance	Gas analysis	AE
		Electrochemistry	QN
		Inorganic analysis	QN
		Organic analysis	AE, QN
		Bioanalysis	ML, QN
Surface analysis	QN		

L'adesione al CIPM-MRA coinvolge notevoli risorse umane, strumentali e finanziarie, allo scopo di mantenere e

<sup>5</sup> Il CIPM-MRA è stato finora firmato dai rappresentanti di 107 istituti - da 63 Stati Membri, 40 Associati alla Conferenza generale dei pesi e misure e 4 organizzazioni internazionali (IAEA, JRC, WMO e ESA) - e copre altri 152 Istituti Designati come detentori di specifici campioni nazionali.

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 fine 2020, nel database del BIPM, l'INRiM risulta aver prodotto 419 CMC (410 in fisica e 9 in chimica).

**Tabella 7 - INRiM – CMC**

<i>Field</i>		<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	119	119	115	115	114
L	Length	42	43	43	43	49
M	Mass	68	61	61	62	62
PR	Photometry and Radiometry	23	23	20	20	20
QM	Amount of substance	10	9	9	9	9
T	Thermometry	97	97	100	100	111
TF	Time and Frequency	14	12	12	12	12
<b>Totals</b>		<b>415</b>	<b>406</b>	<b>402</b>	<b>403</b>	<b>419</b>

Proprio per la sua collocazione centrale in ambito internazionale (NMI che costituisce per l'Italia il presidio della metrologia), nei prossimi anni l'INRiM dovrà raccogliere l'importante sfida legata alla ridefinizione di quattro delle sette unità di misura fondamentali, la cui revisione è stata approvata dalla 26<sup>a</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) tenutasi a Versailles dal 13 al 16 novembre 2018.

A testimoniare la valenza delle collaborazioni internazionali dell'INRiM è la partecipazione a **EURAMET** (<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. 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. Anche nel 2020 l'INRiM è stato rappresentato, attraverso membri designati, in 11 dei 12 Comitati tecnici EURAMET e, in qualità di Istituto Metrologico Nazionale, ha coordinato la partecipazione italiana insieme a università e industrie.

Dopo il successo dell'*European Metrology Research Programme* (**EMRP**) (nell'ambito del VII Programma Quadro), EURAMET ha promosso e realizzato (nell'ambito di Horizon 2020) l'*European Metrology Programme for Innovation and Research* (**EMPIR**), programma che avrà termine nel 2024 con la chiusura dei progetti dell'ultima *call* (bandita nel 2020).

EURAMET si sta preparando a lanciare a partire dal 2021, in accordo con la Commissione Europea, una nuova iniziativa di ricerca basata sull'art. 185 del trattato di Lisbona, denominata *European Metrology Partnership* (**EMP**). Questo programma sarà organizzato in accordo all'art. 185 del trattato di Lisbona, diretto da EURAMET, e sarà finanziato al 50% da fondi comunitari e al 50% dagli stati aderenti all'iniziativa, per un ammontare complessivo di 700 M€. L'Italia ha deciso di cofinanziare la partnership con 49 M€, permettendo quindi agli istituti metrologici nazionali di partecipare ai progetti di ricerca, nel corso dei 7 anni, per 50 M€.

L'Assemblea Generale di EURAMET ha inoltre costituito, a partire dal 2018, gli *European Metrology Networks* (**EMN**), allo scopo 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 ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività di kick-off di cinque dei sei EMN costituiti, coordinandone uno (maggiori dettagli sono disponibili al capitolo 7.2 di questo documento).

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 era stata inizialmente programmata per il 21-24 aprile 2020 a Berna presso il METAS. La pandemia ha imposto un altro calendario ed altre modalità di svolgimento. Attraverso alcune brevi riunioni on line del TC-Q SC si è monitorata la situazione pandemica, sino a fissare, in modalità virtuale,

la data del 20-23 ottobre 2020.

Il TC-Q steering committee ha effettuato in modalità remota la valutazione dei documenti di Annual report e di GAAP (Gap Analysis and Action Plan per la transizione alla nuova edizione della norma ISO 17025) nella primavera (come inizialmente previsto) ed ha rinviato la valutazione dei documenti di rivalutazione quinquennale e di presentazione iniziale dei nuovi NMIs/DIs all'ottobre 2020, in modo che durante il virtual plenary meeting dell'autunno potessero essere tenute, di fronte alla usuale platea di tutti gli NMIs/DIs Europei, le presentazioni corrispondenti. L' Annual Report di INRiM ha riportato valutazione positiva, con "minor questions".

INRiM partecipa inoltre al progetto EURAMET 1123 "On site peer review" (dal 2009-10-01) in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali di Spagna e Portogallo, al fine di mettere in atto un piano di Peer visits annuali tra gli istituti partecipanti al progetto. A dicembre 2020 l'INRiM ha sostenuto con risultato positivo la sua Peer review annuale, condotta dagli esperti degli istituti IO-CSIC (Spagna) e IPQ (Portogallo), a cui si sono aggiunti due esperti provenienti da istituti esterni al progetto 1123, LNE (Francia) e CENAM (Messico). Le attività di Peer review si sono svolte on line e sono state distribuite nel corso di 5 giornate (dal 14 al 18 dicembre), ed hanno riguardato le attività dei laboratori di Fotometria e Radiometria (Photometry, Properties of detectors and sources, Fibre optics, Properties of materials), Vibrazioni, Chimica inorganica (Advanced Materials, Food, Metals and Metals Alloys), Gravità e Durezza.

Consapevole dell'importanza del confronto quale ingrediente fondamentale per lo sviluppo e la qualità della ricerca scientifica, l'INRiM promuove, tramite la firma di protocolli d'intesa, convenzioni, accordi quadro e memorandum of understanding, collaborazioni scientifiche con istituzioni nazionali ed estere, al fine di portare avanti un progetto comune, una tematica specifica o una metodologia scientifico-tecnologica, perseguendone lo sviluppo e l'implementazione.

Nel 2020 l'INRiM ha avuto al suo attivo 44 convenzioni con altri Istituti e Università, nazionali e internazionali, 12 delle quali sono state stipulate ex novo nell'anno (l'elenco completo è disponibile nell' Appendice 3).

Le convenzioni stipulate con enti internazionali sono 10, di cui 2 avviate nel 2020:

- National Institute of Metrology (China): Memorandum of Understanding di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico
- Google Singapore Pte Ltd e NPL: agreement di collaborazione scientifica

Un'altra modalità di confronto con le realtà scientifico-tecnologiche internazionali sono le associazioni a cui l'INRiM aderisce annualmente.

Nel 2020 sono state confermate le seguenti associazioni con organismi internazionali:

- FLUXONICS - The European Foundry for Superconductive Electronics, network europeo di enti di ricerca e università che opera nell'ambito della realizzazione di circuiti superconduttivi per applicazioni elettroniche dalla metrologia al calcolo quantistico.
- CIRP - College International pour la recherche en productique, organizzazione internazionale che promuove la ricerca scientifica in riferimento allo sviluppo delle tecnologie di produzione;
- CITAC - Cooperation in International Traceability of Analytical Chemistry, network internazionale di enti con l'obiettivo di promuovere la riferibilità metrologica delle misure chimiche a livello internazionale;
- ETSI - The European Telecommunications Standards institute, organizzazione europea che opera nel campo delle norme riguardanti le telecomunicazioni;
- EUSPEN - European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, ente che promuove la collaborazione tra ricerca e industria nei campi delle Nanotecnologie e dell'Ingegneria di Precisione;
- IMEKO - International Measurement Confederation, Network mondiale degli enti metrologici che promuove scambi internazionali di informazioni scientifiche e tecniche nell'ambito della metrologia, favorendo anche la cooperazione tra ricerca e industria.

## **8.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI**

Anche in ambito nazionale l'INRiM si impegna nel portare avanti (tramite la firma di protocolli d'intesa, convenzioni, accordi quadro e memorandum of understanding) collaborazioni scientifiche con istituzioni di diversa estrazione, allo scopo di promuovere la propria crescita e lo scambio con altri enti di eccellenza, tramite lo sviluppo di progetti comuni su argomenti specifici.

Le convenzioni attive per l'INRiM nel 2020 (stipulate con Università, Ministeri, enti di ricerca nazionali, associazioni, consorzi) sono state 34, di cui 10 attivate nell'anno.

Di importanza storica sono le collaborazioni con l'Università di Torino e il Politecnico di Torino, le due realtà metropolitane con cui l'INRiM intreccia relazioni non solo sul piano dell'attività di ricerca ma anche sul versante della Terza Missione, sia attraverso l'attività di docenza dei ricercatori dell'INRiM prestata al mondo accademico, che attraverso specifici accordi legati alla formazione.

Sono infatti attive due convenzioni stipulate con l'Università di Torino dedicate all'attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" e di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" per il 35° ciclo; una terza convenzione vuole invece regolamentare i rapporti di collaborazione tra l'INRiM e UniTO nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università. Nel 2020 sono state avviate due nuove convenzioni, una con il Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche (DSCB), l'altra con il Dipartimento di Scienze Chirurgiche (DISC). A fine 2020 sono state poste le basi per la sottoscrizione di una nuova convenzione, avente ad oggetto i tirocini extracurricolari formativi e di orientamento, che verrà formalizzata a inizio 2021.

Sul fronte del Politecnico di Torino, un punto di contatto particolarmente prestigioso è rappresentato dal Corso di Dottorato in Metrologia, attivato attraverso una convenzione stipulata tra l'INRiM e PoliTO, enti che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico; la nuova convenzione a riguardo è stata sottoscritta a fine 2020. E' stata anche avviata una convenzione per l'attivazione di una borsa di studio per il dottorato di ricerca in Fisica (35° ciclo).

Di seguito le nuove convenzioni con organismi nazionali attivate nel 2020:

- Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche (DSCB) dell'Università degli Studi di Torino: accordo specifico di collaborazione scientifica avente ad oggetto la ricerca scientifica nel settore di attività concernente l'European Metrology Network on Traceability in Laboratory Medicine (TraceLabMed) di EURAMET
- Dipartimento di Scienze Chirurgiche dell'Università di Torino (DISC): accordo specifico di collaborazione nel settore della caratterizzazione dei materiali, in particolare di materiali protesici e delle caratteristiche inerenti la valutazione dell'Appearance
- Società Italiana di Fisica (SIF) – Bologna: convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata alla conoscenza, all'aggiornamento e allo stimolo dei processi innovativi nello svolgimento di attività tecnico-scientifiche e di sviluppo congiunte
- 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 2020/2021
- Politecnico di Torino: convenzione per l'erogazione di contributo in denaro destinato al finanziamento dell'attività di ricerca mediante l'attivazione di una borsa di studio per il dottorato di Ricerca in Fisica (35° ciclo)
- CNR, Politecnico di Milano, Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento, Fondazione INPHOTEC di Pisa e Politecnico di Torino: addendum 02 to It-FAB Memorandum of Understanding on new partner finalizzato alla costituzione della rete italiana di infrastrutture di micro e nano-fabbricazione "IT-FAB"

- Università degli Studi di Firenze: convenzione quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche, della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di comune attività dell'INRiM e dell'Università
- Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino: convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse
- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Frascati (RM): convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse
- Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze: accordo attuativo della convenzione quadro di collaborazione scientifica con il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze al fine di regolamentare il soggiorno del Dott. Martella presso l'Institut de Recherche de Chimie Paris nel quadro del Bando "Leonardo da Vinci" ed. 2020 - azione 2 - mobilità di giovani

Oltre a quelle nuove, nel 2020 sono state rinnovate/implementate anche le seguenti convenzioni, che sanciscono collaborazioni di lunga tradizione per l'istituto:

- Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino: attuativa della convenzione quadro di collaborazione scientifica su "studio della propagazione del campo elettromagnetico in strutture fotoniche tridimensionali disordinate"
- Politecnico di Milano – Polo Regionale di Como: Rinnovo della convenzione di collaborazione scientifica
- Consorzio Top-IX – Torino: rinnovo della convenzione di collaborazione per la diffusione del segnale di tempo riferito a UTC attraverso la fibra ottica

Nel 2020 il Consiglio di Amministrazione dell'INRiM ha deliberato di approvare l'invio della manifestazione di interesse finalizzata all'inserimento dell'Istituto nella long list di soggetti pubblici e privati, interessati a realizzare iniziative, programmi e progetti in collaborazione con l'**Area di Ricerca Scientifica e Tecnologica – Area Science Park** di Trieste; nel 2021 si provvederà dunque a stipulare un protocollo d'intesa/convenzione avente ad oggetto la realizzazione di iniziative, programmi e progetti di comune interesse, in particolare nell'ambito del trasferimento tecnologico, della valorizzazione della ricerca e del potenziamento del ruolo di Istituto metrologico nazionale.

Area Science Park di Trieste, ente nazionale di ricerca e innovazione che nel 2018 ha festeggiato i suoi primi quarant'anni di attività, ha tra i suoi obiettivi principali quelli di (a) creare collegamenti tra il mondo della ricerca e quello dell'impresa, (b) promuovere la collaborazione tra il mondo pubblico e quello privato e (c) favorire lo sviluppo dei processi d'innovazione capaci di alimentare la crescita e la competitività dei territori. Quindi ASP è un partner potenzialmente molto interessante per INRiM con cui sviluppare progetti congiunti di innovazione. In particolare, un possibile terreno di collaborazione è rappresentato dalla valutazione della qualità delle misurazioni nel contesto industriale, includendo (1) la valutazione della sensoristica utilizzata (riferibilità, caratterizzazione, accuratezza, stabilità, etc), (2) la valutazione della catena di misura complessiva (fino ai parametri di interesse per gli utenti finali) e (3) l'analisi delle misure, includendo la valutazione dell'incertezza ed il rilevamento di eventi rari (es. rotture). D'altro canto, sarebbe molto interessante potersi avvalere delle competenze e dell'esperienza di ASP per l'analisi del potenziale applicativo delle conoscenze sviluppate nell'Istituto. La collaborazione potrebbe prevedere anche degli scambi mutui di personale, finalizzati alla loro crescita ed all'identificazione delle opportunità operative più promettenti.

Il CdA ha autorizzato anche l'adesione all'Associazione **Distretto Aerospaziale Piemonte (DAP)**, che consentirebbe la promozione delle attività dell'INRiM nel settore dell'aerospazio. L'Associazione non ha scopo di lucro ed è finalizzata ad attuare le iniziative per lo sviluppo e il consolidamento di un distretto tecnologico aerospaziale del Piemonte e la promozione delle eccellenze del settore aerospaziale presenti sul territorio

piemontese, anche al fine di promuovere la nascita, ovvero lo sviluppo, di piccole e medie imprese (PMI) nella filiera aerospaziale.

A fine 2020 è stata avviata la procedura per formalizzare la nuova associazione alla **Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo (CUNA)** di Torino, un'associazione senza fini di lucro, di carattere tecnico e federata all'UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, il cui scopo è di contribuire alla soluzione di argomenti di unificazione tecnica nel campo delle macchine mobili, loro componentistica e prodotti affini o connessi.

Tra le collaborazioni di vecchia data dell'Istituto spicca quella con l'associazione *no profit* ACCREDIA, l'ente unico di accreditamento nazionale riconosciuto dallo Stato e vigilato dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE); l'INRiM fornisce ad ACCREDIA il supporto tecnico per l'espletamento delle attività di accreditamento dei laboratori di taratura, secondo gli accordi definiti nella convenzione stipulata fra i due enti; il supporto messo a disposizione dall'INRiM consiste nella preziosa competenza di ispettori/esperti per le pratiche di accreditamento e in un'adeguata copertura metrologica alle attività di accreditamento; la convenzione tra INRiM e ACCREDIA, di durata triennale, verrà rinnovata nel 2021.

Nel 2020 l'INRiM ha continuato a collaborare con importanti organismi nazionali che gravitano nell'ambito della metrologia, tra i quali si segnalano i seguenti enti normativi:

- CEI – Comitato Elettrotecnico Italiano: associazione di diritto privato, riconosciuta dallo Stato Italiano e dall'Unione Europea, responsabile in ambito nazionale della normazione tecnica in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni; propone, elabora, pubblica e divulga Norme tecniche che costituiscono il riferimento per la presunzione di conformità alla “regola dell'arte” di prodotti, processi, sistemi e impianti elettrici; il personale dell'INRiM partecipa alle attività di numerosi Comitati CEI, mettendo a disposizione la propria professionalità;
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione: 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); il personale INRiM partecipa attivamente ai Working Groups e alle Commissioni dell'UNI, che fruisce delle conoscenze e delle preziose competenze di esperti nei vari campi.

L'INRiM ha mantenuto nel 2020 anche le adesioni ad alcune società consortili di varia natura; per quanto riguarda le collaborazioni di natura scientifica si segnalano i seguenti organismi:

- TOP-IX - Torino Piemonte Internet eXchange: consorzio 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;
- Proplast: consorzio per la promozione della cultura plastica, gestore del Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante nell'ambito tecnologico-applicativo "Nuovi materiali".

Confermate nel 2020 anche le associazioni più recenti ai Cluster “Energia” e “Fabbrica Intelligente”, Cluster tecnologici nazionali promossi dal Miur, costituiti allo scopo di favorire la creazione di reti di soggetti pubblici e privati che operano sul territorio nazionale in settori quali la ricerca industriale, la formazione e il trasferimento tecnologico; i Cluster funzionano da catalizzatori di risorse per rispondere alle esigenze del territorio e del mercato, nonché per coordinare e rafforzare il collegamento tra il mondo della ricerca e quello delle imprese.

Il "Cluster Tecnologico Nazionale ENERGIA (CTN ENERGIA)" è nato nel 2017 con l'ENEA in qualità di Capofila. I soci fondatori dell'Associazione, oltre all'ENEA, sono: Nuovo Pignone Tecnologie s.r.l., CNR, Ricerca Sul Sistema Energetico - RSE S.p.A., Consorzio Interuniversitario Nazionale per Energia e Sistemi Elettrici e Terna - Rete Elettrica Nazionale S.p.A.

L'Associazione, di cui l'INRiM è membro, si propone come struttura aperta alla partecipazione incrementale di tutti gli attori nazionali interessati ai temi dell'energia, con la finalità di creare un'unica realtà aggregativa di valenza nazionale (community), capace di essere efficacemente rappresentativa del settore di riferimento in una prospettiva europea e internazionale e come punto di incontro con gli Organismi istituzionali e le

Amministrazioni regionali e nazionali.

Le *macro aree tecnologiche* di interesse del CTN Energia, in linea con quanto previsto dal SET-Plan della Commissione Europea, sono:

- Fonti rinnovabili di energia;
- Efficienza energetica e negli usi finali;
- Smart Grid, nell'accezione più ampia riguardante tutte le reti per l'energia e le loro possibili integrazioni;
- Utilizzo sostenibile dei combustibili fossili e di quelli da fonte rinnovabile (in particolare biocombustibili);
- Accumulo dell'energia;
- Mobilità sostenibile, intesa come contributo allo sviluppo di innovativi power train e sistemi di alimentazione.

Il Cluster Tecnologico Nazionale "Fabbrica Intelligente" è nato nel 2012 ed è un'associazione che include imprese di grandi e medio-piccole dimensioni, università e centri di ricerca, associazioni imprenditoriali e altri stakeholder attivi nel settore del manufacturing avanzato. L'associazione è riconosciuta dal MIUR come propulsore della crescita economica sostenibile dei territori dell'intero sistema economico nazionale, favorendo l'innovazione e la specializzazione dei sistemi manifatturieri nazionali.

L'azione strategica del Cluster Fabbrica Intelligente, di cui l'INRiM è membro, è orientata alla promozione di:

- Trasferimento tecnologico
- Condivisione delle infrastrutture di ricerca e mobilità
- Sviluppo di una imprenditorialità intelligente e sostenibile
- Foresight tecnologico a livello regionale, nazionale e internazionale nel settore della fabbrica intelligente
- Supporto alla crescita del capitale umano.

Storica è invece l'adesione dell'INRiM, in qualità di membro, ai Poli di Innovazione della Regione Piemonte elencati di seguito, mantenuta anche nel 2020,

I Poli di Innovazione sono raggruppamenti di PMI, grandi imprese, start up innovative, organismi di ricerca, ecc. attivi in un particolare ambito tecnologico o applicativo, che rispondono al modello largamente diffuso su scala nazionale ed internazionale di "Cluster innovativi", "distretti tecnologici", "Innovation Hub". In qualità di agenti dell'innovazione sul territorio regionale, i Poli di innovazione piemontesi promuovono il trasferimento di tecnologie, la condivisione di strutture e lo scambio di conoscenze e competenze.

Il Polo di Innovazione BIOPMED, nato dall'impulso della Regione Piemonte nell'ambito del programma POR-FESR 2007-2013, associa imprese, centri di ricerca, università, fondazioni, ASL, ospedali e associazioni attivi nei campi della salute umana e delle scienze della vita, per promuovere l'interazione tra ricerca e industria, stimolare l'innovazione e accompagnare processi di internazionalizzazione.

Il Polo CLEVER (Cleantech&Energy innoVation clustER) opera nell'ambito Energy and Clean Technologies, in particolare, nelle aree tecnologiche ed operative dell'energia ed efficienza energetica, delle risorse idriche, dell'economia circolare, delle infrastrutture e reti di distribuzione, della mobilità sostenibile e delle clean solutions; ha l'obiettivo di affiancare gli associati nello sviluppo del proprio percorso di innovazione, attraverso la messa a disposizione di servizi, supporto tecnico e metodologico e infrastrutture dedicate.

Il Polo ICT, attivato nel 2009 dalla Regione Piemonte, è un network che mette in rete gli attori dell'innovazione – PMI, grandi imprese, enti di ricerca pubblici e privati, end user – per sviluppare progetti di ricerca e nuove opportunità di business. Si tratta di una rete di eccellenza coordinata dalla Fondazione Torino Wireless, ente gestore del Polo, che promuove il network, raccoglie le esigenze e fornisce servizi a valore aggiunto a tutti i membri del Polo.

Il Polo MESAP "Smart Products and Manufacturing" si occupa di prodotti, di processi intelligenti e dei loro

produttori, nella convinzione che solo la loro connessione possa accrescere la competitività del territorio piemontese. Per questo promuove e sostiene progetti e collaborazioni tra aziende, università e centri di ricerca per rafforzare le filiere tecnologiche e industriali. L'Agenda Strategica di Ricerca del Polo è costituita dalle tematiche di ricerca e di trasferimento tecnologico di interesse per i suoi associati (imprese e organismi di ricerca).

È da segnalare la collaborazione con il 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. Essa opera sotto la presidenza, la direzione scientifica ed il patrocinio dell'INRiM, ed è un'azione strutturata di trasferimento della conoscenza. L'obiettivo principale del CMM Club Italia è sviluppare e diffondere la cultura tecnica e scientifica e fare rete nel settore della metrologia dimensionale in generale e di quella a coordinate in particolare, adeguata alle esigenze di qualità e competitività delle aziende italiane. Le attività si svolgono su tre filoni principali: la *Formazione* svolta mediante seminari tecnici denominati InTeRSeC, arrivati alla 39ª edizione; l'*Informazione* realizzata mediante il periodico tecnico *Probing* distribuito ai Soci, la newsletter *Probing Flash*, l'edizione di *Guide tematiche del CMM Club* e la raccolta di simili documenti disponibili nel pubblico dominio, e il sito web associativo; e la *Normazione* a promozione e sostegno delle attività italiane in ambito ISO.

Infine, l'INRiM ha confermato nel 2020 anche le associazioni ai seguenti organismi nazionali:

- AIA - Associazione Italiana di Acustica: è un'associazione senza fini di lucro, a carattere scientifico, che mira a favorire gli scambi di informazioni scientifiche e tecniche e i rapporti di collaborazione tra i propri Soci, allo scopo di diffondere risultati di ricerche e notizie concernenti i vari temi dell'acustica;
- AICQ - Associazione Italiana Cultura Qualità: è una federazione di associazioni territoriali senza fini di lucro, la cui finalità è di promuovere, favorire e realizzare lo studio, lo sviluppo e l'applicazione delle metodologie e dei sistemi per il miglioramento della cultura della qualità;
- APRE - Agenzia Promozione Ricerca Europea: si tratta di un'associazione di ricerca no-profit che fornisce ai propri associati (imprese, enti pubblici e privati) informazioni supporto e assistenza per la partecipazione ai programmi e alle iniziative di collaborazione nazionale ed europee (con particolare riferimento a Horizon 2020) nel campo della ricerca e del trasferimento dei risultati delle ricerche;
- Fondazione Torino Wireless: la sua missione consiste nel contribuire alla competitività del territorio, accelerando la crescita delle imprese che utilizzano le tecnologie come fattore strategico di sviluppo; fornisce supporto alle imprese nella partecipazione a bandi e progetti finanziati (misure regionali, nazionali o comunitarie) e nella ricerca di partner e l'avvio di collaborazioni fra imprese, anche attraverso la creazione di opportunità di networking con potenziali partner di ricerca, industriali e commerciali;
- IMQ – Istituto Italiano del Marchio di Qualità: è un ente di certificazione italiano, senza scopo di lucro, che opera nel campo della valutazione della conformità (sicurezza, qualità, sostenibilità) per l'Italia e per l'estero;
- NETVAL - Network per la valorizzazione della ricerca: è un'associazione la cui mission è valorizzare la ricerca universitaria nei confronti del sistema economico ed imprenditoriale, enti ed istituzioni pubbliche, associazioni imprenditoriali e aziende, venture capitalist e istituzioni finanziarie; Netval vuole rappresentare un ponte tra la ricerca pubblica e le imprese interessate ad accrescere la propria competitività attraverso l'innovazione;
- SIF – Società Italiana di Fisica: si tratta di un ente morale con lo scopo di promuovere, favorire e tutelare lo studio e il progresso della Fisica in Italia; è il promotore e l'organizzatore della Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi", evento che consiste in un insieme di corsi che si tengono ogni anno a Varenna sul Lago di Como e al quale l'INRiM partecipa periodicamente con un corso, rivolto agli studenti di dottorato, dedicato alla Metrologia; a partire dal 2021 non verrà più corrisposta la quota associativa annua, che verrà sostituita dalla nuova convenzione stipulata nel 2020 tra l'Istituto e la Società;
- Unimet: è un ente federato UNI, che si occupa della normativa nell'ambito dei metalli non ferrosi;

## 9 – LE ATTIVITA' E I RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2020

### 9.1 - RICERCA E SVILUPPO (R&S)

Il lavoro descrive una nuova tecnica spettroscopica ispirata al concetto di campionamento stocastico sparso. Il principio di misura si basa sulla natura degli impulsi emessi da una sorgente laser caotica, caratterizzati da righe di emissione estremamente strette, diradate e scorrelate in frequenza. Raccogliendo una statistica sufficiente, è possibile ricostruire una funzione di trasferimento incognita con una risoluzione non limitata da quella dello spettrometro usato.

A. Boschetti, A. Taschin, P. Bartolini, A.K. Tiwari, L. Pattelli, R. Torre, D.S. Wiersma, *Spectral super-resolution spectroscopy using a random laser*. *Nature Photonics* 14(3), 14(3) 177–182 (2020) (IF 37.8, cover story)

L'articolo descrive in modo sistematico il meccanismo di organizzazione e dewetting di copolimeri a blocchi modificati per mezzo dell'introduzione di omopolimeri a basso peso molecolare. Come risultato del processo di dewetting è stata osservata la formazione di strutture periodiche auto-organizzate altamente ordinate, con dimensioni caratteristiche di circa 18 nm. Tali strutture possono essere utilizzate per realizzare metamateriali metallo/dielettrici con dispersione iperbolica utili per aumentare l'efficienza di sorgenti di singolo fotone.

F. Ferrarese Lupi, I. Murataj, F. Celegato, A. Angelini, F. Frascella, R. Chiarcos, D. Antonioli, V. Gianotti, P. Tiberto, F. Pirri, L. Boarino, M. Laus "Tailored and Guided Dewetting of Block Copolymer/Homopolymer Blends" *Macromolecules*, 53 (16) 7207-7217 (2020). (IF 5.918, Cover)

Lavoro di Review sul tema del riscaldamento durante sessioni MRI, di protesi metalliche impiantate, preparato in collaborazione con PTB e Zurich MedTech. Insieme all'analisi della letteratura sull'argomento, l'articolo presenta i concetti fondamentali per il risk assessment e la sua quantificazione e alcune indicazioni preliminari per la mitigazione del rischio.

L. Winter, F. Seifert, L. Zilberti, M. Murbach, B. Ittermann, *MRI-Related Heating of Implants and Devices: A Review*, *J. Magn. Reson. Imag.*, 2020 (<https://doi.org/10.1002/jmri>) (IF 3.954)

Lavoro collaborativo sul tema della valutazione dell'esposizione umana nelle stazioni di ricarica basate su trasferimento di potenza wireless (WPT), con contributo dell'INRiM sia per quanto riguarda le valutazioni numeriche, sia quelle sperimentali, in collaborazione con SPEAG AG (Svizzera), RISE (Svezia), CIRCE (Spagna) e NPL (UK). Insieme all'analisi della letteratura sull'argomento, l'articolo presenta l'approccio alla misura dell'induzione magnetica e alla valutazione dell'incertezza associata, la modellizzazione del sistema WPT, la validazione delle misure e l'estensione dei risultati alla valutazione dosimetrica dell'esposizione umana.

I. Liomi, O. Bottauscio, R. Guilizzoni, P. Ankarson, J. Bruna, A. Fallahi, S. Harmon, M. Zucca, *Assessment of exposure to electric vehicle inductive power transfer systems: Experimental measurements and numerical dosimetry*, *Sustainability* 12 (11), 4573, 2020 (IF 2.576)

In questo lavoro viene riportata la tecnica basata su LIPUS, Low-Intensity Pulsed Ultrasound, in grado di trattare pazienti affetti da polmonite interstiziale una volta usciti dalla fase acuta. Lo studio si basa su un sistema d'insonazione realizzato, progettato e caratterizzato presso i laboratori dell'INRiM.

F. Prada, C. Cogliati, M. A. Wu, G. Durando, N. Montano, I. G. Vetrano, F. Calliada, S. Bastianello, A. Pichiecchio, F. Padilla, *Can Low-Intensity Pulsed Ultrasound Treat Discrete Pulmonary Lesions in Patients With COVID-19?* *Journal of Ultrasound in Medicine* doi: <https://doi.org/10.1002/jum.15522> (IF 1.759)

L'articolo nasce da una collaborazione tra l'INRiM e il Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino, volta allo sviluppo di nanoparticelle per applicazioni biomedicali, quali il drug delivery e l'imaging diagnostico. Sono state studiate nanoparticelle in ossido di zinco opportunamente funzionalizzate, focalizzandosi sulla loro capacità di promuovere diversi cicli di cavitazione inerziale sotto l'effetto di ultrasuoni focalizzati. Il meccanismo alla base è il riassorbimento del gas disciolto in aria sulla superficie nanocristallina delle nanoparticelle e la conseguente riduzione della soglia di cavitazione. L'INRiM ha condotto le misure ecografiche e di dose di cavitazione nelle varie modalità di trattamento ultrasonoro, dimostrando la capacità di tali nanoparticelle di essere usate come agenti di contrasto nell'imaging ad ultrasuoni e come nano-piattaforme per il rilascio controllato di farmaci.

A. Ancona, A. Troia, N. Garino, B. Dumontel, V. Cauda, G. Canavese, *Leveraging re-chargeable nanobubbles on amine-functionalized ZnO nanocrystals for sustained ultrasound cavitation towards echographic imaging*, *Ultrasonics Sonochemistry* 67, 105132 (2020) (IF 6.513)

L'articolo nasce dalla collaborazione tra l'INRiM e l'Istituto Ortopedico Galeazzi, volta allo studio di vescicole extracellulari derivate da cellule stromali mesenchimali come agenti terapeutici per il trattamento dell'osteoartrite. L'obiettivo è la valutazione della cinetica di assorbimento nei tessuti cartilaginei delle nanovesicole, marcate in fluorescenza, attraverso l'utilizzo della microscopia ottica nonlineare CARS-SHG-TPEF in time-lapse. Si è eseguita la valutazione quantitativa della profondità di penetrazione delle nanovesicole, dell'area e del volume occupati e della colocalizzazione rispetto alla matrice extracellulare e alle cellule tissutali, focalizzandosi su tessuti bioingegnerizzati basati su micromasse di condrociti e su espianti di cartilagine, derivati da pazienti con osteoartrite. Lo studio ha dimostrato la capacità della microscopia CARS-SHG-TPEF nel monitorare la diffusione delle vescicole nei tessuti e nell'ottenere dati quantitativi in condizioni sempre più simili a quelle in vivo.

*L. Mortati, L. de Girolamo, C. Perucca Orfei, M. Viganò, M. Brayda-Bruno, E. Ragni, A. Colombini, In Vitro Study of Extracellular Vesicles Migration in Cartilage-Derived Osteoarthritis Samples Using Real-Time Quantitative Multimodal Nonlinear Optics Imaging, Pharmaceutics 12(8), 734 (2020) (IF 4.421)*

L'abilità delle nanoparticelle magnetiche di rilasciare calore, quando sono sottoposte a un campo alternato, è stata impiegata per sviluppare nuove applicazioni biomedicali antitumorali tra cui l'ipertermia magnetica e il rilascio termoattivato di farmaci. Al fine di ottenere trattamenti terapeutici basati sul calore sempre più efficaci e personalizzati è necessario comprendere la profonda influenza delle caratteristiche magnetiche delle nanoparticelle sull'efficienza termica. In questo lavoro è stata studiata la relazione tra la dipendenza dalla temperatura della saturazione magnetica e della costante di anisotropia delle nanoparticelle e il rilascio di calore attivato da un campo elettromagnetico. Un modello basato sulle equazioni di rate è stato utilizzato per determinare le proprietà isteretiche delle nanoparticelle e la conseguente potenza termica rilasciata mediante il meccanismo di rilassamento di Néel. Un'equazione di trasporto di calore applicata ad un simulante contenente nanoparticelle magnetiche è stata risolta con condizioni al contorno opportune per descrivere esperimenti di laboratorio e applicazioni in vivo. L'effetto di riscaldamento del simulante è fortemente influenzato dalla dipendenza dalla temperatura della potenza termica rilasciata e le dimensioni delle nanoparticelle. Sono stati osservati alcuni effetti inaspettati: nanoparticelle inattive possono subire un'attivazione secondaria da parte di nanoparticelle più piccole. I risultati ottenuti dal modello inducono a riconsiderare la validità dei due metodi classici (l'approccio lineare e il metodo della condizione adiabatica) utilizzati per ottenere la stima della potenza rilasciata dalle nanoparticelle mediante il parametro di SLP. Al fine di migliorare l'accuratezza nella misura del parametro SLP, nell'articolo viene proposto un metodo alternativo.

*Gabriele Barrera, Paolo Allia Paola Tiberto, Temperature-dependent heating efficiency of magnetic nanoparticles for applications in precision nanomedicine, Nanoscale 12, 6360-6377 (2020) (IF 6.895)*

Questo lavoro si prefigge di risolvere sperimentalmente l'effetto di spin Seebeck in un materiale di alta qualità quale il garnet di ferro-ittrio usando un probe termico riscaldato localmente e in grado di generare una spin current di non equilibrio. Per supportare i risultati sperimentali, il lavoro presenta anche un modello basato su un approccio di termodinamica di non-equilibrio che è in accordo con i dati sperimentali. Inoltre, usando un microscopio a forza magnetica è stato possibile correlare l'effetto Seebeck con la magnetizzazione locale individuando le regioni attive. Questa tecnica di imaging permette di ottenere lo stato della magnetizzazione nella scala di diffusione dei magnoni e quindi di caratterizzare i materiali spin-caloritronici alla nanoscala

*Alessandro Sola, Craig Barton, Vittorio Basso, Carsten Dubs, Massimo Pasquale, and Olga Kazakova, Local Spin Seebeck Imaging with a Scanning Thermal Probe, Phys. Rev. Applied 14, 034056 (2020) (IF 4.195)*

Il lavoro descrive lo sviluppo di un metodo innovativo per la taratura di misuratori di portata di liquidi, basato sulla pesatura dinamica. Il principio di misura sviluppato ha permesso di ottenere un modello di misurazione notevolmente semplificato rispetto agli altri metodi dinamici attualmente in uso, riducendo, di conseguenza, i contributi di incertezza che influenzano la taratura. Il sistema di misura è stato testato nel campo tra 10 kg h<sup>-1</sup> e 60 kg h<sup>-1</sup>, ma è anche particolarmente adatto per portate inferiori. Le incertezze ottenute sono dell'ordine del 0,01 %, allo stato dell'arte per questo campo di portate.

*F. Saba, A. Malengo, M. Santiano, A dynamic gravimetric standard for liquid flow measurements. Metrologia 58 015007, 2021 (online 2020) (IF 3.058)*

È stato sviluppato un metodo innovativo per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante utilizzati per le misure di durezza Knoop. Modificando in modo opportuno la strumentazione già disponibile in laboratorio, il metodo è stato implementato e si sono ottenuti i primi valori di misurazione. I risultati sono stati confrontati con quelli di un altro laboratorio estero, confermando la bontà del metodo e la corretta valutazione dell'incertezza. Questo sviluppo renderà possibile implementare delle nuove CMC da inserire nel KCDB del BIPM in ambito CIPM MRA, attualmente non dichiarate da nessun altro laboratorio al

mondo.

A. Prato, C. Origlia, A. Germak, *Verification of Knoop indenters with a Vickers-addressed optical system. Measurement* 163, (2020) pp. 1-8 (IF 3.364)

L'articolo presenta una stima della tensione superficiale prodotta da uno strato di alcuni nanometri di rame depositato attraverso un metodo galvanico su una lamina di Si spessa meno di 1 mm. La misura della deformazione indotta dal sottile strato di rame è stata fatta tramite la topografia X a contrasto di fase, per cui la lamina di Si è in realtà una delle tre lamine di un interferometro X triplo Laue monolitico. La sensibilità del metodo ha permesso di misurare deformazioni dell'ordine di 2 pm/mm e ha rappresentato il primo passo verso la stima dell'effetto della tensione superficiale dovuta all'ossido nativo sulla determinazione del passo reticolare del Si tramite interferometria X. Grazie ad una simulazione agli elementi finiti della lamina, è stato altresì possibile stimare il valore della tensione superficiale del film di rame che è risultata essere di circa 0.3 N/m per nm di spessore. La topografia X a contrasto di fase ha dimostrato di essere in grado di determinare lo stress superficiale di diversi film depositati su Si, con possibili ricadute sulle tecnologie basate su substrati di Si.

E. Massa, C.P. Sasso, M. Fretto, L. Martino, G. Mana, *X-ray phase-contrast topography to measure the surface stress and bulk strain in a silicon crystal. Journal of applied crystallography*, 53 (5), (2020), pp. 1195-1202 (IF 2.995) ISSN 1600-5767, <http://hdl.handle.net/11696/63870>

L'articolo descrive lo studio delle interazioni punta-campione nella caratterizzazione AFM di una nanostruttura bio-vegetale (Tobacco Mosaic Virus) a forma di bastoncino con un diametro di circa 18 nm come riferimento su scala nanometrica. Quando viene ripreso dall'AFM, il diametro del TMV è determinato come l'altezza superiore dell'asta dal profilo di sezione trasversale ricostruito di virioni isolati, depositati su un substrato piatto come la mica. Le interazioni punta-campione-substrato vengono discusse con riferimento a dati e modelli sperimentali in letteratura, al fine di determinare le deformazioni e l'incertezza associata delle correzioni, con cui la differenza tra il diametro dell'altezza superiore ricostruito da AFM e il valore di riferimento si riduce a circa 0,3 nm.

G.B. Picotto, M. Vallino, L. Ribotta, *Tip-sample characterization in the AFM study of a rod-shaped nanostructure. Meas. Sci. Technol.* 31 (2020) 084001 (12 pp.) (IF 1.857)

Uno studio condotto da un gruppo di ricerca del Politecnico di Torino (SMaLL) e dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) propone una tecnologia per raffrescare gli ambienti basata su fenomeni passivi, ossia processi spontanei come la capillarità o l'evaporazione, sfruttando direttamente la radiazione solare e la comune acqua salata invece di compressori che necessitano di energia elettrica e di composti chimici potenzialmente dannosi per l'ambiente. La caratteristica vincente del dispositivo risiede nella sua modularità: le unità refrigeranti possono funzionare autonomamente oppure essere disposte in serie, come accade con le comuni batterie, per aumentare l'effetto di raffrescamento. Il sistema permette, quindi, di ridurre l'impatto energetico e ambientale del raffrescamento degli edifici.

M. Alberghini, M. Morciano, M. Fasano, F. Bertiglia, V. Femicola, P. Asinari, E. Chiavazzo: "Multistage and passive cooling process driven by salinity difference", *Science Advances*, 6 (11), eaax5015 (2020) (IF 13.116)

Presso i laboratori di termodinamica dell'INRiM è stato realizzato un apparato sperimentale per la misura della velocità del suono in fluidi a temperature criogeniche. Tale apparato ha permesso di ottenere misure di velocità del suono in metano liquidi lungo cinque isoterme (130, 134, 140, 150 and 162) K e per pressioni fino a 10 MPa. I risultati sperimentali sono stati confrontati con i risultati esistenti in letteratura e con quelli ottenuti utilizzando sia l'equazione di stato di Setzmann e Wagner, sia il modello GERG-2008.

G. Cavuoto, S. Lago, P. A. Giuliano Albo, D. Serazio. "Speed of sound measurements in liquid methane (CH<sub>4</sub>) at cryogenic temperatures between (130 and 162) K and at pressures up to 10 Mpa", *Journal of Chemical Thermodynamics*, 142, 106007 (2020) (IF 2.34)

Il lavoro costituisce il *position paper* del progetto IUPAC/CITAC 2019-012-1-500 "Influence of a mass balance constraint on uncertainty of test results of a substance or material and risks in its conformity assessment" ([https://iupac.org/projects/project-details/?project\\_nr=2019-012-1-500](https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2019-012-1-500)). Sviluppa modelli Bayesiani per la valutazione della probabilità di conformità e del rischio di decisioni errate nella valutazione di conformità di oggetti multicomponente le cui componenti sono soggette al vincolo di massa, tenendo conto delle incertezze e delle covarianze presenti tra le componenti stesse. L'articolo ha ricevuto il CITAC *Best Paper Award* per l'anno 2020 e sarà oggetto di presentazione in un *webinar* dedicato, organizzato dal CITAC, nell'anno 2021.

F. R. Pennecchi, A. Di Rocco, I. Kuselman, D. B. Hibbert, M. Sega, *Correlation of test results and influence of a mass balance constraint on risks in conformity assessment of a substance or material, Measurement* 163 (2020) 107947, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107947> (IF 3.364)

Il lavoro, svolto in collaborazione con il Centro Ricerche Ambiente Marino di S. Teresa (ENEA), ha confrontato numerosi profili di temperature e salinità marine, ottenuti, con diverse tipologie di sensori, (approssimativamente) negli stessi punti spaziali e temporali del Mar Mediterraneo. A valle della valutazione dell'incertezza associata, si è dimostrata, ad esclusione delle rilevazioni nella fascia superficiale, una sostanziale equivalenza metrologica tra i sensori considerati.

A. Bordone, F. Pennecchi, G. Raiteri, L. Repetti, F. Reseghetti, XBT, ARGO Float and Ship-Based CTD Profiles Inter-compared Under Strict Space-Time Conditions in the Mediterranean Sea: Assessment of Metrological Comparability. *J. Mar. Sci. Eng.* 8(5), (2020) 313, <https://doi.org/10.3390/jmse8050313> (IF 2.033)

Il lavoro descrive il sistema per la misura dei rapporti degli isotopi stabili in CO<sub>2</sub> pura, realizzato e messo a punto al *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), mediante spettroscopia infrarossa per i rapporti isotopici (IRIS). Tale sistema consente di ottenere misure di  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  con una riproducibilità pari a 0.02 ‰ (1  $\sigma$ ). Il sistema è stato validato utilizzando campioni di CO<sub>2</sub> pura nell'intervallo di valori di  $\delta^{13}\text{C}$  tra -1 ‰ e -45 ‰ vs VPDB. Mediante tale sistema di campionamento e di misura è possibile ottenere riproducibilità di misura mediante la spettroscopia IRIS che si avvicinano alle riproducibilità ottenibili mediante la spettrometria di massa. L'INRiM ha contribuito alla realizzazione del lavoro sperimentale mediante un *secondment* di sei mesi presso il BIPM.

J. Viallon, E. Flores, P. Moussay, I. Chubchenko, F. Rolle, T. Zhang, E. B. Mussell Webber and R. I. Wielgosz, An optimized sampling system for highly reproducible isotope ratio measurements ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) of pure CO<sub>2</sub> gas by infrared spectroscopy, *Metrologia* 57 055004, (2020) <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ab948c> (IF 3.058)

Questo articolo passa in rassegna le linee guida, gli standard, i dispositivi di misurazione e la letteratura disponibili relativamente alle geometrie di misura delle proprietà di riflessione dei manti stradali, elemento fondamentale per la progettazione di impianti di illuminazione stradali capaci di assicurare sia la sicurezza stradale sia il risparmio energetico. È anche dettagliata la raccomandazione del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE, coordinato da INRiM, di utilizzare delle condizioni geometriche di misura alternative che consentano una maggior accuratezza di misura, l'implementazione di dispositivi di misura non solo più precisi ma anche meno costosi, una ottimizzazione delle condizioni di visione con un incremento della sicurezza stradale e infine una migliore accuratezza in fase di verifica normativa degli impianti. Le geometrie proposte sono diverse a seconda delle diverse condizioni di guida e degli utenti della strada e si riferiscono alle condizioni angolari di osservazione: 2,29° per gli ambienti urbani e per la coerenza con lo standard della segnaletica stradale, e 1° per l'ambiente extraurbano e per la coerenza con le geometrie precedenti. Un angolo di 5°, corrispondente alla distanza di osservazione di 17 metri, potrebbe essere un compromesso interessante, adatto alla guida urbana a bassa velocità, ai ciclisti e alle nuove forme di mobilità urbana. Gli angoli di 10° e 2°8 sono sottoposti alla considerazione dei comitati tecnici e normative per applicazioni (*smart lighting*) che necessitano di distinguere tra comportamento in riflessione diffusa e speculari.

V. Muzet, J. Bernasconi, P. Iacomussi, S. Liandrat, F. Greffier, P. Blattner, J. Reber, M. Lindgren, Review of road surface photometry methods and devices – Proposal for new measurement geometries. *Lighting Research and Technology*, 0 (2020) pp. 1-17 (IF 2.226)

Un metodo dielettroforesi combinata (DEP) - Spettroscopia Raman (RS) per misurazioni dirette e in tempo reale della suscettibilità di una sospensione di batteri planctonici senza marcatura o altri processi di preparazione del campione che richiedono tempo lunghi. Utilizzando un dispositivo DEP-Raman costruito internamente, abbiamo dimostrato la suscettibilità di *Escherichia coli* MG1655 verso l'antibiotico fluorochinolone ciprofloxacina (CP) di seconda generazione dopo solo 1 ora di trattamento.

Barzan, G., Sacco, A., Mandrile, L., Giovannozzi, A.M., Brown, J., Portesi, C., Alexander, M.R., Williams, P., Hardie, K.R., Rossi, A.M., "New frontiers against antibiotic resistance: A Raman-based approach for rapid detection of bacterial susceptibility and biocide-induced antibiotic cross-tolerance" *Sensors and Actuators B: Chemical* 309, 127774

Presentato un metodo rapido SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) per rilevare SO<sub>2</sub> nel vino, sfruttando il legame preferenziale delle nanoparticelle d'argento (AgNP) con le specie contenenti zolfo. Il metodo non richiede la separazione dell'SO<sub>2</sub> ma solo una pre-pulizia della matrice mediante estrazione in fase solida. Per ogni vino testato è stato definito il limite di rivelabilità (LOD), compreso tra 0,6 mg / l e 9,6 mg / l.

Mandrile, L., Cagnasso, I., Berta, L., Giovannozzi, A.M., Petroziello, M., Pellegrino F., Asproudi, A., Durbiano, F., Rossi, A.M., "Direct quantification of sulfur dioxide in wine by Surface Enhanced Raman Spectroscopy" *Food Chemistry*, 2020, 326, 127009

Una collaborazione INRiM-NIST ha portato alla prima realizzazione di un ponte quantistico di resistenza per la taratura di resistori campione con l'effetto Hall quantistico. Il ponte è basato su di un circuito integrato in grafene epitassiale, che include tre elementi Hall connessi con wiring superconduttori. Il ponte richiede un numero minimo di strumenti elettronici per l'utilizzo. L'accuratezza nella taratura di un campione di resistenza

di valore nominale 12906 ohm è di alcune parti in  $10^8$ .

*M. Marzano, M. Kruskopf, A. Panna, A. Rigosi, D. Patel, H. Jin, S. Cular, L. Callegaro, R. Elmquist, M. Ortolano, "Implementation of a graphene quantum Hall Kelvin bridge-on-a-chip for resistance calibrations", Metrologia, Vol. 57, 015007 (2020).*

Risultati di una collaborazione tra istituti metrologici primari per il confronto di un campione di tensione ac/dc, un convertitore termico a film sottile multigiunzione planare realizzato con substrato in quarzo (PMJTC), fabbricato presso il NIST.

*M. Kampik, M. Grzenik, T. Lippert, K. E. Rydler, V. Tarasso, B. Trinchera, "Comparison of a thermal AC voltage standard in the 1-30 MHz frequency range," IEEE Trans. Instrum. Meas., 70, 1500508 (2020).*

Questo lavoro, in collaborazione col DTU, dimostra per la prima volta la possibilità di superare i limiti classici della misura nell'interferometria correlata, in particolare usando stati entangled nel numero di fotoni (fasci gemelli). Tale risultato può trovare applicazione da esperimenti volti alla ricerca di effetti di fisica alla scala di Planck (quali l'olometro del Fermilab) alla ricerca del fondo di onde gravitazionali.

*S. T. Pradyumna, E. Losero, I. Ruo-Berchera, P. Traina, M. Zucco, C. S. Jacobsen, U. L. Andersen, I. P. Degiovanni, M. Genovese & T. Gehring, "Twin beam quantum-enhanced correlated interferometry for testing fundamental physics" Communications Physics (Nature) 3, 104 (2020)*

La ricerca dell'emissione a singolo fotone da centri di colore in diamante rappresenta un campo d'indagine particolarmente promettente in vista della realizzazione di sorgenti a singolo fotone "on demand". Questo studio sistematico, sia a temperatura ambiente che in criogenia, sull'emissione di difetti dovuti a ioni fluoro, compiuto in collaborazione con UniTo nell'ambito del progetto PiQuet, apre la strada ad ulteriori progressi verso l'utilizzo di questo promettente emettitore.

*S. Ditalia Tchernij, T. Luhmann, E. Corte, F. Sardi, F. Picollo, P. Traina, M. Brajkovic, A. Crnjac, S. Pezzagna, Z. Pastuović, I. P. Degiovanni, E. Moreva, P. Aprà, P. Olivero, Z. Siketic, J. Meijer, M. Genovese and J. Forneris, "Fluorine-based color centers in diamond", Scientific Reports 10, 21537 (2020)*

Si descrive il link ottico in fibra tra Torino, Medicina (INAF) e Matera (ASI), con la caratterizzazione e il primo esperimento di radioastronomia VLBI a orologio comune. La ricerca apre la strada al miglioramento delle osservazioni VLBI cancellando una delle quattro sorgenti principali di incertezza e/o bias.

*Clivati, C; Aiello, R, Bianco, G, Bortolotti, C, De Natale, P, Di Sarno, V, Maddaloni, P, Maccaferri, G, Mura, A, Negusini, M, Levi, F, Perini, F, Ricci, R, Roma, M, Amato, LS, de Cumis, MS, Stagni, M, Tuozzi, A, Calonico, D, "Common-clock very long baseline interferometry using a coherent optical fiber link" OPTICA, 7, 1031-1037 (2020)*

Si trasmettono fotoni entangled in polarizzazione su un cavo in fibra ottica sottomarino tra la Sicilia e Malta, lungo 192 km, dimostrando un risultato su lunga distanza possibile grazie alle proprietà di elevata stabilità (soprattutto termica del cavo subacqueo).

*Wengerowsky, S; Joshi, SK; Steinlechner, F; Zichi, JR; Liu, B, Scheidl, T, Dobrovolskiy, SM; van der Molen, R; Los, JWN; Zwiller, V; Versteegh, MAM; Mura, A; Calonico, D; Inguscio, M; Zeilinger, A, Xuereb, A; Ursin, R, "Passively stable distribution of polarisation entanglement over 192 km of deployed optical fibre", NPJ Quantum Information, 6, 5 (2020)*

In questo lavoro si mostra come il protocollo sub-shot-noise quantum imaging può essere ottimizzato per migliorare significativamente la risoluzione senza rinunciare al vantaggio quantistico. Tramite l'applicazione di un particolare estimatore dell'assorbimento di un'immagine, si ottiene un miglioramento della risoluzione lineare fino a un fattore 3 rispetto al semplice protocollo utilizzato nelle dimostrazioni precedenti, mantenendo lo stesso setup di misura.

*Ruo-Berchera I., A Meda, E Losero, A Avella, N Samantaray, M Genovese. "Improving resolution-sensitivity trade off in sub-shot noise quantum imaging", Applied Physics Letters 116, 214001, 2020*

Si descrive lo sviluppo di setup con raffreddamento He-free per giunzioni a effetto Josephson, il miglioramento delle prestazioni legate alla stabilità in temperatura del chip, la riduzione degli effetti legati alla trasmissione elettrica in campioni impulsati, lo studio di segnali per la ottimizzazione della polarizzazione e della conversione DAC per campioni programmabili. Gli argomenti si inseriscono nel piano di sviluppo europeo del Quantum Volt per l'elettronica digitale.

*A.M. Klushin, J. Lesueur, M. Kampik, F. Raso, A. Sosso, S.K. Khorshev, N. Bergeal, F. Couëdo, C. Feuillet-Palma; P. Durandetto, M. Grzenik, K. Kubiczek, K. Musiol, A. Skorkowski, "Present and future of high-temperature superconductor quantum-based voltage standards" IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, (2020) Vol.23, 2*

## 9.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO (NMI)

Il lavoro propone un metodo per la valutazione dell'enhancement factor di substrati per analisi di spettroscopia Raman aumentata dalle superficie (SERS) tramite misura di fluorescenza a raggi X, metrologica e tracciabile, della densità superficiale delle molecole Raman attive sulla superficie plasmonica.

*E. Cara, L. Mandrile, A. Sacco, A.M. Giovannozzi, A.M. Rossi, F. Celegato, N. De Leo, P. Hönicke, Y. Kayser, B. Beckhoff, D. Marchi, A. Zoccante, M. Cossi, M., Laus, L. Boarino, F. Ferrarese Lupi "Towards a traceable enhancement factor in surface-enhanced Raman spectroscopy." Journal of Materials Chemistry C 8.46 (2020): 16513-16519 (IF 7.059)*

In accordo con la ridefinizione del sistema internazionale delle unità di misura, dove le unità sono definite in termini di costanti fisiche, il lavoro propone la realizzazione di uno standard di resistenza basato su dispositivi memresistivi. Accoppiando meccanismi di trasporto ionico ed elettronico, tali dispositivi possono esibire livelli di conduttanza quantizzata multipli del quanto fondamentale di conduttanza. Dato che il quanto fondamentale di conduttanza è legato a costanti fondamentali che vengono fissate nel nuovo sistema internazionale delle unità di misura, tali dispositivi possono essere utilizzati per la realizzazione pratica di uno standard di resistenza che, diversamente dai classici dispositivi ad effetto Hall, possono operare in diverse condizioni ambientali (aria, vuoto etc.), in un ampio range di temperatura e senza la necessità di applicare un campo magnetico. Tali dispositivi, che possono essere scalati a dimensioni nanometriche e sono compatibili con i convenzionali processi CMOS dell'elettronica, possono essere utilizzati per la fabbricazione di uno standard di resistenza implementabile "on-chip".

*Milano, G., Ferrarese Lupi, F., Fretto, M., Ricciardi, C., De Leo, N., & Boarino, L.. "Memristive Devices for Quantum Metrology". Advanced Quantum Technologies, 3(5), 2000009, (2020). cover*

La Power Measurement Unit (PwMU) è un sistema di misura campione, concepito per svolgere la funzione di riferimento per le misurazioni in laboratorio e in campo relative alla ricarica cablata e wireless dei veicoli elettrici. Il sistema è in grado di effettuare misure sincronizzate della potenza assorbita da un veicolo elettrico (batterie), della potenza assorbita dalla rete dal sistema di ricarica e di calcolare l'efficienza di ricarica. Il sistema è riferibile al sistema SI per quanto concerne la potenza elettrica, la tensione e la corrente elettrica, per frequenze fino a 150 kHz. L'incertezza relativa di misura estesa, che include la distorsione armonica, è migliore dello 0.1%, nell'intervallo di temperatura da 18 °C a 28 °C, sia per quanto riguarda la potenza che l'efficienza. Infine, la PwMU consente la caratterizzazione delle emissioni magnetiche dei sistemi di trasferimento di potenza wireless (WPT), correlando i livelli di induzione magnetica misurati, con la corrente elettrica nelle bobine trasmettente e ricevente. Il sistema è stato sperimentato nella caratterizzazione dei sistemi di misura installati in stazioni per la ricarica induttiva statica di veicoli elettrici.

*M. Zucca, P. Squillari and U. Pogliano, A Measurement System for the Characterization of Wireless Charging Stations for Electric Vehicles, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 70, pp. 1-10, early access 23 Dec. 2020, Art no. 9001710, doi: 10.1109/TIM.2020.3046908 (IF 3.658)*

Supporto all'accreditamento – organizzazione e svolgimento di un ILC riguardante la taratura di filtri a bande di terzi di ottava, destinato ai laboratori di taratura accreditati per misure acustiche.

Progetto EURAMET 1123 (novembre 2020) – Svolgimento della peer review per il laboratorio di acustica del CEM (Centro Español de Metrología).

Nell'ambito del Working Group on Cell Analysis (CAWG) del CCQM si è ultimato il report finale dello studio P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate", dove l'INRiM era laboratorio pilota. Tale studio, che è il primo sulla microscopia ottica a fluorescenza, ha avuto lo scopo di dimostrare la capacità dei 9 NMI partecipanti nella quantificazione di 4 misurandi: numero di cellule aderenti su una superficie planare; densità cellulare; confluenza cellulare; area cellulare media. Il punto di forza è stata la possibilità di confrontare 4 capacità di misura utilizzando un unico materiale di riferimento, che è stato prodotto e caratterizzato in INRiM. Lo studio ha mostrato un buon accordo generale tra i laboratori coinvolti, consentendo di fare passi fondamentali nelle analisi cellulari, in termini di riferibilità, comparabilità dei risultati e complessità del protocollo di misura. Inoltre, è stato propedeutico di un futuro confronto chiave su almeno uno dei misurandi, quali indicatori dello "stato di salute" di cellule in coltura in adesione e delle loro proprietà (proliferazione, morfologia e dimensione).

*Studio pilota CCQM-CAWG P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate".*

L'articolo nasce dalla collaborazione tra l'INRiM e gli enti metrologici NPL, PTB e CMI e l'IFW Dresden,

finalizzata allo sviluppo di tecniche quantitative di imaging magnetico su scala nanometrica, quali la microscopia a forza magnetica (MFM). Nello specifico, si è proposto un metodo innovativo per la calibrazione di sonde per microscopia MFM, basato sul confronto di diverse tecniche di misura, che coinvolgono l'imaging di materiali di riferimento (film in Co/Pt con anisotropia magnetocristallina perpendicolare) e l'utilizzo di nanosensori Hall e microspire opportunamente geometrizzate. I modelli computazionali sviluppati in INRiM hanno permesso di correlare i risultati ottenuti con le diverse tecniche, fornendo un'informazione quantitativa sul momento magnetico delle sonde MFM testate. Si è quindi dimostrata la potenzialità dell'MFM quale tecnica di routine nella caratterizzazione di materiali magnetici per applicazioni che spaziano in vari settori, tra cui quello biomedicale.

*H. Corte-León, V. Neu, A. Manzin, C. Barton, Y. Tang, M. Gerken, P. Klapetek, H. W. Schumacher, O. Kazakova, Comparison and Validation of Different Magnetic Force Microscopy Calibration Schemes, Small 16(11), 1906144 (2020) (IF 11.459)*

Il Reperimento campioni di riferimento da produttori acciaio magnetico internazionali.

Nell'ambito del progetto HEFMAG è stata pianificata un round robin per le misure di perdita su Epstein e SST, in particolare è stato necessario avviare la progettazione di un nuovo setup introducendo strumentazione a controllo digitale, sia per misure con banco balistico, sia con il wattmetro usate nel laboratorio di magnetismo. Questo permette di completare la misura delle proprietà magnetiche in regimi non convenzionali, permettendo la misura metrologica anche su nuovi materiali commerciali di basso spessore, ad alta temperatura fino a 200°C, ad alta frequenza, e in condizioni di flusso distorto e di flussi bidimensionali anche in presenza di effetto pelle.

È stato realizzato un sistema di taratura per accelerometri triassiali MEMS digitali ed è stata fornita la riferibilità per sensori con uscita digitale. Il sistema di taratura permette di determinare contemporaneamente la sensibilità principale e trasversale nel dominio della frequenza (da 5 Hz a 3 kHz) e in condizioni statiche. La procedura, basata sul confronto con un trasduttore di riferimento, prevede a eccitazione monoassiale di piani inclinati. I risultati sperimentali sono espressi in termini di matrici di sfruttamento e sensibilità. Le incertezze generali estese sui termini principali sono nell'ordine del 2%, in condizioni dinamiche, e dell'1% -2% in condizioni statiche. Questo sistema può essere implementato per lo sviluppo di sistemi di controllo in linea dei produttori e per lo studio di procedure di calibrazione su larga scala. È stato inoltre effettuato un confronto bilaterale su 25 sensori MEMS, al fine di verificare le condizioni di riproducibilità del sistema di taratura con l'Università dell'Aquila.

*A. Prato, A., F. Mazzoleni, A. Schiavi, A. Traceability of digital 3-axis MEMS accelerometer: simultaneous determination of main and transverse sensitivities in the frequency domain. Metrologia, 57(3), (2020) 12 pp. (IF 3.058)*

*A. Schiavi, A. Prato, F. Mazzoleni, G. D'Emilia, A. Gaspari, E. Natale, (2020, June). Calibration of digital 3-axis MEMS accelerometers: A double-blind «multi-bilateral» comparison. In 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (2020), pp. 542-547*

È stato effettuato un confronto supplementare bilaterale EURAMET sulle scale di durezza Rockwell di due istituti nazionali di metrologia, INRiM e UME (Turchia). In entrambi gli Istituti le misure di durezza Rockwell sono effettuate secondo le norme ISO 6508-1:2016 e ISO 6508-3:2015, compresa la nuova definizione delle scale Rockwell accettata dal CIPM/CCM WGH. Le scale di durezza Rockwell utilizzate per il confronto sono state l'HRA, HRBW e HRC che sono quelle più comunemente utilizzate in ambito industriale. Il laboratorio pilota è stato l'INRiM. Il confronto ha potuto dimostrare che i risultati di misurazione e le valutazioni di incertezza dichiarate da INRiM e UME sono coerenti tra loro.

*A. Germak, C. Kuzu, C. Origlia and E. Pelit, EURAMET supplementary comparison between INRiM and UME in Rockwell hardness scales (HRA - HRBW - HRC) - EURAMET.M.H-S1.a.b.c, Metrologia, 57 (1A) (2020) (IF 3.058)*

Sono stati pubblicati i risultati del confronto chiave (*Key Comparison*) EURAMET.M.FF-K4.1.2016 sul volume di liquidi svolto in ambito EURAMET, relativo alla taratura di un campione di volume da 20 L, in cui l'INRiM ha svolto il ruolo di laboratorio pilota. I laboratori partecipanti sono stati 21. La compatibilità dei risultati è avvenuta valutando il grado di equivalenza in relazione al confronto svolto a livello CIPM "CCM.FF-K4.1.2011", in cui aveva preso parte anche l'INRiM.

*A. Malengo\* et al, Final report on EURAMET project 1395/EURAMET.M.FF-K4.1.2016: volume comparison at 20 L. Metrologia, 57 (1A) (2020) 07021 (IF 3.058)*

Taratura degli accelerometri per la missione ESA-JUICE. L'attività nell'ambito di un contratto Thales-Alenia Space è consistita nella definizione della strategia di misura, nel progetto e realizzazione della facility, e l'esecuzione dei test. Il risultato è la taratura degli accelerometri che voleranno sulla missione JUICE per

l'esplorazione delle lune di Giove, su tre assi, per diverse temperature con una accuratezza relativa migliore di 100 ppm (assoluta dell'ordine di  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>).

Sono stati pubblicati i risultati del confronto chiave inter-RMO EURAMET.L-K5.2016 sulla taratura di calibri a passi, che ha visto la partecipazione di ventidue Istituti Metrologici Nazionali provenienti da quattro differenti organizzazioni metrologiche regionali (RMO). I risultati ottenuti dall'INRiM hanno permesso di proporre una revisione della CMC con estensione del campo di misura e riduzione dell'incertezza.

*T. Coveney, M. Matus, S. Wang, V. Byman, A. Lassila, N. Alqahtani, F. Alqahtani, D. Sumner, J. Spiller, F. Meli, G.B. Picotto, R. Bellotti, O. Sato, R. Sharma, G. Moona, V. Kumar, J. Rodríguez, E. Prieto, I. Meral, O. Ganioglu, J. Salgado, A. Wójtowicz, P. Skalník, V. Zelený, J. Stoup, G. Kotte, R. Koops, E. Arizmendi, W. Wang, A. Jakobsson, A. Duta, E. Dugheanu, G. Reain and G. Szikszai, Calibration of 1-D CMM artefacts: step gauges (EURAMET.L-K5.2016). Metrologia, 57 (1A), (2020) 04002 (IF 3.058)*

Nel 2020 è stato pubblicato il rapporto finale del confronto internazionale EURAMET.EM-S42 relativo ai sistemi di misura di alte tensioni impulsive, a cui ha partecipato INRiM. I risultati ottenuti permetteranno il *reinstatement* di 15 CMCs, in carico al LATFC, relative all'impulso atmosferico e la presentazione di una nuova CMC sull'impulso troncato. Questo permetterà la riattivazione del servizio di taratura.

*J. Hällström et al, Final report on Supplementary comparison EURAMET.EM-S42, comparison of lightning impulse (LI) reference measuring systems. Metrologia, 58 (1A) (2020) 01001 (IF 3.058)*

Le prove di cortocircuito sono essenziali per la validazione della sicurezza e dell'affidabilità delle apparecchiature elettriche. L'INRiM ha recentemente sviluppato sistema di riferimento in grado di tarare i trasduttori utilizzati nelle misure di cortocircuito direttamente in condizioni dinamiche e comparabili a quelle presenti durante i test di cortocircuito. Il lavoro descrive i sistemi sviluppati e il loro utilizzo.

*P. Roccato, L. Bellavia, M. Lanzillotti, P. P. Capra (2020). Taratura di trasduttori per cortocircuito mediante digitalizzatori ad elevata precisione. In: Atti del IV Forum Nazionale delle Misure. p. 219-220*

Pubblicazione sul KCDB di 14 nuove capacità di misura e taratura (CMC) in ambito termico: 1 CMC riguarda la taratura per confronto di termometri rodio-ferro nel campo tra 4 K e 27 K (1 CMC); 6 CMC riguardano l'estensione del riconoscimento delle capacità di taratura di diversi tipi di termocoppie, in particolare l'estensione della taratura ai punti fissi di termocoppia tipo S e tipo R sino al punto fisso del rame (1084,62 °C); 3 CMC riguardano la taratura in bagno di azoto liquido a pressione atmosferica a -196 °C di termometri a resistenza di tipo industriale e di indicatori di temperatura con sonda; 4 CMC riguardano la taratura di termometri a radiazione: ai punti fissi tra 156 °C e 962 °C e per confronto da 50 °C a 960 °C usando una sorgente corpo nero.

Pubblicazione del rapporto finale relativo al confronto EURAMET.T-S3 riguardante la taratura di termocoppie platino-palladio da 419,527 °C (temperatura di solidificazione dello zinco) fino a 1492 °C (temperatura di fusione del punto eutettico palladio-carbonio), sia con il metodo dei punti fissi, che con il metodo del confronto. Hanno partecipato 19 istituti metrologici nazionali e il Centro Español de Metrología (CEM) ha esercitato il ruolo di coordinatore. Le misure di INRiM sono state eseguite dai laboratori di termometria primaria temperature intermedie, di termometria industriale e di termometria a radiazione.

*D. del Campo, Y. Abdelaziz, M. Anagnostou, N. Arifovic, R. A. Bergerud, J. Bojkovski, E. Ciocarlan, F. Edler, C. Elliot, O. Hathela, N. Hodzic, M. Holmsten, L. Iacomini, M. Kozicki, S. Nedialkov, M. Sadli, S. Simic, R. Strnad and E. Turzó-András "Calibration of thermocouples from 419,527 °C (freezing point of Zn) up to 1492 °C (melting point of the Pd-C eutectic), by the temperature fixed point and comparison methods" Metrologia, 57 (1A), 03006 (2020) (IF 3.058)*

Nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE "Pavement surface characterization for smart and efficient road lighting", coordinato da INRiM, sono stati progettati e successivamente realizzati con la stampa 3D, dei Materiali di Riferimento (RM) per il coefficiente di luminanza di asfalti, che sono stati utilizzati successivamente durante la prima *Intercomparison* sul coefficiente di luminanza, realizzata sempre nell'ambito del sopraccitato progetto. Sono quindi disponibili al sistema di Accreditamento Europeo Materiali di Riferimento Certificati (CRM) realizzati in stampa 3D la cui facile implementazione e disseminazione è assicurata dall'IoT.

INRiM ha sviluppato un nuovo ponte *fully-digital* per il confronto di impedenze. Il ponte, ottimizzato per il confronto resistenza-capacità, è completamente automatizzato e verrà impiegato per la realizzazione pratica del farad a partire dall'effetto Hall quantistico in regime alternato, con incertezza di qualche parte in  $10^7$ .

*M. Marzano, M. Ortolano, V. D'Elia, A. Müller, L. Callegaro, "A fully-digital bridge towards the realization of the farad from the quantum Hall effect," Metrologia, vol. 58, n. 1, 015002, 2020.*

INRiM ha partecipato al confronto EURAMET.EM-K5.2018, EURAMET Project #1451, *Key comparison of 50/60 Hz Electrical Power*, nella primavera 2020. Il confronto chiave è coordinato da VSL, PTB, NPL and LNE. Due campioni viaggiatori RADIANT RD-22 circolano in loop paralleli. I risultati del confronto supporteranno le nuove CMC INRiM per la potenza ed energia elettrica.

*B. Trinchera, D. Serazio: "INRiM: Measurement report on EURAMET EM-K5 Key comparison of 50/60 Hz power", EURAMET comparison toolbox, <https://euramet.org/comparison-toolbox/start.php>, Jun 2020.*

L'INRiM ha organizzato uno studio pilota con PTB, NPL e CMI per un futuro confronto internazionale per la misurazione dell'efficienza di rilevamento dei rilevatori a fotone singolo fotone accoppiati con fibra singolo modo a lunghezze d'onda telecom.

*M. López, A. Meda, G. Porrovecchio, R. A. Starkwood (Kirkwood), M. Genovese, G. Brida, M. Šmid, C. J. Chunnillall, I. P. Degiovanni and S. Kück, A study to develop a robust method for measuring the detection efficiency of free-running InGaAs/InP single-photon detectors, EPJ Quantum Technol. (2020) 7: 14*

Nella magnetometria e nella termometria in applicazioni biologiche, stanno emergendo i centri azoto-vacanza (NV) in (nano-)diamanti come una soluzione promettente per la loro biocompatibilità e la possibilità di essere posizionati in prossimità della membrana cellulare, consentendo così una risoluzione spaziale nanometrica. In questo articolo di rassegna vengono analizzati i nuovi risultati relativi all'applicazione dei centri NV e vengono discusse le principali sfide che devono essere affrontate per portare ad applicazioni pratiche.

*G. Petrini, E. Moreva, E. Bernardi, P. Traina, G. Tomagra, V. Carabelli, I. P. Degiovanni, and M. Genovese, Is a Quantum Biosensing Revolution Approaching? Perspectives in NV-Assisted Current and Thermal Biosensing in Living Cells, Adv. Quantum Technol.2020, 3, 2000066 (2020)*

Si descrive l'algoritmo e le prestazioni della scala di tempo INRiM generata con tutti gli orologi a disposizione, superando uno schema di "master clock" con orologi a contorno di controllo.

*Galleani, L.; Signorile, G.; Formichella, V; and Sesia I. "Generating a real-time time scale making full use of the available frequency standards" METROLOGIA, 2020 ,065015 ,57*

Si descrive la misura della frequenza assoluta SI della transizione di orologio dell'Ytterbio, usando come riferimento la Scala di Tempo Internazionale TAI. La misura ha contribuito al calcolo del valore accettato internazionalmente per questa frequenza.

*Pizzocaro, M; Bregolin, F; Barbieri, P; Rauf, B; Levi, F; Calonico, D, Absolute frequency measurement of the S-1(0)-P-3(0) transition of Yb-171 with a link to international atomic time, Metrologia, 57, 035007 (2020)*

In ambito CIPM/CCTF, è istituita nel 2020 un gruppo formale per determinare la roadmap di ridefinizione del secondo. INRiM partecipa e presiede il tema "Disseminazione di Tempo e Frequenza e Scale di Tempo". Per il 2021 è previsto un *White Paper* e per il 2022 l'indicazione per il CGPM sui passi necessari e le date possibili per il cambio di definizione.

*Task force della roadmap di ridefinizione del secondo*

### **9.3 - KNOWLEDGE TRANSFER (KT)**

Un ricercatore della Divisione è l'autore di un testo universitario che si propone il raggiungimento da parte degli studenti sia di una competenza estesa, sia di un discreto approfondimento del comportamento meccanico, termico, elettronico ed ottico dei materiali maggiormente utilizzati nella tecnologia moderna. Il tutto senza voler ricorrere a pesanti trattazioni matematiche, ma cercando di stimolare nello studente la comprensione intuitiva, mantenendo però un certo rigore formale. Il testo descrive e confronta approcci di fisica classica e quantistica, evidenziando i limiti dei primi e mostrando le potenzialità dei secondi. Gli aspetti tecnologici relativi alla realizzazione di dispositivi elettronici vengono trattati mostrando l'applicazione delle proprietà di base dei materiali acquisite nei capitoli precedenti.

*Stesura di un testo universitario: G. Amato: "Manuale di Fisica dello stato solido", Tab edizioni, Roma, (2020)*

Alcuni ricercatori della Divisione hanno organizzato la prima edizione della *Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standardisation*. La scuola è stata seguita da 50 tra relatori e allievi provenienti da

NMI e centri di ricerca di tutta Europa. Tra i contributi INRiM e associati è possibile citare: D. Wiersma, "Welcome and Elastomeric materials for microrobotics", M. Laus, UPO, "Polymers Metrology", P. Tiberto, "Nanomagnetism", F. Ferrarese-Lupi, "Metamaterials", G. Milano, "Neuromorphic computation", L. Pattelli, "Disordered Photonics" <https://www.inrim.it/evento/1st-winter-school-advanced-materials-metrology-and-standardisation>.

*Organizzazione della 1st Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standardisation, 2-7 febbraio 2020, Claviere (To), Italia*

Libreria open source EPTlib (disponibile su piattaforma GitHub) che colleziona algoritmi per svolgere tomografia delle proprietà elettriche basata su scansioni a risonanza magnetica, capaci di eseguire la misura indiretta delle proprietà dielettriche dei tessuti biologici del corpo scansionato, da utilizzare come biomarcatori per la diagnosi ed il monitoraggio non invasivi di patologie di varia natura. Tale libreria è stata riconosciuta come l'unica attualmente disponibile nel suo genere dallo *Study Group on Electro-Magnetic Tissue Properties della International Society for Magnetic Resonance in Medicine*.

<https://eptlib.github.io/>

Il workshop, organizzato dall'INRiM, in collaborazione con il VSL, ha costituito un'occasione di confronto tra i centri di cura europei per le patologie oncologiche e i *partner* del progetto di ricerca europeo EMPIR 18HLT06 *RaChy*. Nell'ambito del Workshop 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 clinico e preclinico. Il Workshop ha visto la partecipazione di circa 50 persone, provenienti per più del 50% dal mondo della ricerca in ambito biomedicale.

*Workshop RaChy 2020 How the Metrology can Support Radiotherapy Coupled with Hyperthermia, VSL, Delft, Olanda, 10 febbraio 2020*

Al fine di aumentare la platea dei potenziali interessati ai lavori normativi del comitato CEI CT 29/87 "Elettrocacustica e Ultrasuoni" è stato organizzato un workshop (in modalità telematica gestito dal CEI), rivolto ad aziende che operano, a vario titolo, nell'ambito delle misurazioni acustiche. In particolare, sono stati analizzati i Work Programme 2020 dei comitati tecnici IEC TC 29 "Electroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics", specificando le attività dei vari WGs e i temi discussi durante la riunione plenaria del 23-27 Marzo 2020, svoltasi in modalità remota. Inoltre, sono stati mostrati i documenti di IEC TC 29/87 votati nel corso del 2020 con i relativi esiti delle votazioni, nonché lo stato di avanzamento del loro iter di approvazione.

*Workshop CEI: IEC TC 29/87 – Attività 2020, 11 dicembre 2020*

Il BIPM ha pubblicato il comunicato "*National Measurement Institutes Demonstrate High Accuracy Reference Measurement System for SARS-CoV-2 testing*", che anticipa i risultati dello studio pilota *P199b "SARS-CoV-2 RNA copy number quantification"*, nato nel Working Group on Nucleic Acid Analysis (NAWG) del CCQM, in risposta all'emergenza sanitaria COVID-19. Lo studio, coordinato da LGC (UK), NIM (Cina), NIBSC (UK) e NIST (USA), ha visto 21 laboratori confrontarsi sulla misurazione di SARS-CoV-2 mediante la tecnica PCR digitale a trascrizione inversa, che consente misurazioni estremamente accurate e altamente riproducibili della quantità di RNA virale. Il confronto, condotto su scala mondiale, è stato completato in meno di sei mesi. L'INRiM vi ha contribuito sviluppando e ottimizzando un protocollo di misura per la quantificazione del numero di copie del virus, ottenendo risultati eccellenti in termini di incertezza di misura e riproducibilità, ed in linea con il valore di riferimento. Il confronto, il cui report finale verrà ultimato all'inizio del 2021, rappresenta l'esempio più completo di misurazione dell'RNA altamente riproducibile e sensibile, e apre la possibilità per la quantificazione, riferita all'SI, dei geni virali, con ricadute in vari ambiti diagnostici.

*Comunicato del BIPM sullo studio pilota CCQM-NAWG P199b "SARS-CoV-2 RNA copy number quantification"*

Nel "*Compendium on Electromagnetic Analysis from Electrostatics to Photonics: Fundamentals and Applications for Physicists and Engineers*", edito da World Scientific, è stato pubblicato il capitolo "*Modeling of Nanostructured Magnetic Field Sensors*". Tale capitolo tratta gli aspetti teorici e di modellizzazione di alcune tipologie di sensori di campo magnetico nano/microstrutturati, focalizzandosi su quelli basati su effetto Hall classico e planare, magnetoresistenza anisotropica e risonanza ferromagnetica in cristalli magnonici. Particolare attenzione è rivolta al design di dispositivi integrabili in sistemi per la diagnostica *in vitro*, in grado di rilevare la presenza e misurare la quantità di nano/microparticelle magnetiche funzionalizzate, utilizzate come "traccianti" di marcatori molecolari.

*Capitolo "Modeling of Nanostructured Magnetic Field Sensors", pubblicato nel "Compendium on Electromagnetic Analysis from Electrostatics to Photonics", World Scientific.*

Partecipazione all'iniziativa "Gli enti di ricerca per studenti, insegnanti e famiglie" promossa da INDIRE, con la presentazione di un webinar sul magnetismo per gli studenti di scuola secondaria di II grado realizzato all'interno dell'Ente. L'iniziativa è stata promossa da tutti gli enti pubblici di ricerca italiani, che hanno selezionato contenuti, video e contributi interattivi per favorire lo studio e l'approfondimento da casa. Dal sito ([www.indire.it](http://www.indire.it)) è possibile consultare le slide usate per la presentazione.

Nell'ambito del progetto EMPIR 19RPT02 RealMass "Improvement of the realisation of the mass scale", di cui INRiM è responsabile del WP3 "Development of mathematical and software tools", è stato svolto un corso di formazione per la realizzazione della scala di massa rivolto agli istituti partecipanti al progetto. Il corso si è svolto in modalità remota e ha avuto una durata di 20 ore suddiviso in 4 giorni. Ai partecipanti sono stati forniti fogli di calcolo preparati dall'INRiM per la realizzazione della scala di massa.

Rilascio (*granted*) di brevetto internazionale dal titolo "System for determining the characteristics of a gas and related method for measuring such characteristics", EP 3394595 B1 20200311 (EN). L'invenzione riguarda un sensore di densità di un gas basato sullo scattering di Rayleigh. Il dispositivo permette di effettuare misure di pressione con un singolo strumento su un range di almeno 6 ordini di grandezza (da 1 Pa a 1MPa). Sul principio brevettato è stato realizzato un dispositivo per la misura della polarizzabilità relativa di diversi gas nell'ambito del progetto EMPIR Quantum Pascal.

Rispondendo all'iniziativa [Solidarietà digitale](#) lanciata dal governo all'inizio della pandemia da Covid-19, il CMM Club Italia ha attivato un'iniziativa denominata "[mini percorsi di formazione](#)", che ha reso disponibile una suite di corsi *on line* gratuiti. Il successo dei mini percorsi è confermato dalle quasi 2000 visualizzazioni nel 2020.

È stato condotto uno studio approfondito del comportamento sulle connessioni elettriche crimpate in seguito a sollecitazioni di tipo meccanico. Lo studio mostra gli effetti meccanici in particolare sulla resistenza elettrica di contatto tra cavi e le terminazioni maggiormente utilizzate nei cablaggi industriali e nel campo automotive.

P.E. Roccatò, L. Bellavia, F. Galliana, P.P. Capra, A. Perta, Dependency of the electrical resistance in crimped connections on mechanical stresses. *Engineering Research Express*, 2 (2020), pp. 1-6, ISSN: 2631-8695, doi: 10.1088/2631-8695/aba1a2

P.E. Roccatò, L. Bellavia, P.P. Capra, L. Cinnirella, F. Galliana, A. Perta, Influence of crimped connections in temperature rise tests. *Measurement Science & Technology*, 31 (2020), pp. 1-6, ISSN: 0957-0233, doi: 10.1088/1361-6501/ab5824 (IF 1.861)

Nell'ambito delle attività di trasferimento tecnologico previste dal progetto EMPIR 17IND12 Met4FoF "Metrology for the factory of the future", è stato congiuntamente organizzato da INRiM e PTB un *workshop*, rivolto agli *stakeholders* del progetto, per presentare i risultati ottenuti nella taratura dinamica di sensori, nella taratura di sensori digitali MEMS, e nello sviluppo di strumenti matematici utili per la metrologia delle reti di sensori. Il *workshop* ha riscontrato una buona partecipazione (oltre 30 partecipanti) dall'industria, dall'accademia e dagli NMI. Per verificare il gradimento del *workshop* stato inviato un successivo questionario a cui hanno risposto circa il 50 % dei partecipanti. Il riscontro è stato complessivamente molto positivo.

*Workshop "Metrology for the factory of the future" (Met4FoF), INRiM, Italia, 15 luglio 2020 (in modalità online).*

Nel 2020 INRiM, con il supporto di CEREMA, avrebbe dovuto organizzare il Terzo Simposio internazionale "Road surface photometry" durante la riunione annuale della Divisione 4 della CIE nel mese di maggio in Slovacchia. La situazione pandemica ha cancellato tutti gli eventi in presenza, INRiM ha quindi organizzato nel corso del 2020 tre diversi *Webinar* Internazionali, con un totale di 10 presentazioni dedicati a presentare le nuove geometrie ottimizzate per la caratterizzazione delle prestazioni fotometriche degli asfalti, il loro impatto sui consumi energetici e sicurezza stradale, strumenti e metodi di misurazione sia in laboratorio che on-site su strada e valutazione dell'incertezza di misura. La partecipazione totale ai *Webinar* è stata di circa 100 persone, soprattutto dai paesi Europei e dal Giappone, con il quale è stata implementata nel corso degli anni una collaborazione con le imprese Panasonic e Nexco-Ri. Le presentazioni e le registrazioni dei *Webinar* sono disponibili sul sito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE coordinato da INRiM.

*Surface project webinars (in modalità online). <https://surface-nrm02.eu/webinars/>*

Le due modalità di progettazione di Materiali di Riferimento Certificati (CRM) per il coefficiente di luminanza di asfalti sviluppati nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE sono state oggetto di brevetto depositato (Domanda di brevetto italiana n. 102020000026711 e n. 102020000026735). I due brevetti INRiM rappresentano una delle prime applicazioni metrologiche di CRM basati su IoT.

Nell'ambito della "Call for action – Innova per l'Italia", è stato avviato un progetto dal titolo "Validazione, test pass/fail e test termici di filtri per DPI e di maschere e semimaschere filtranti" (progetto 2407 del 08/04/20, sottoposto in risposta al suddetto bando) allo scopo di supportare la realizzazione di un laboratorio per la verifica dei requisiti di qualità e sicurezza delle mascherine facciali ad uso medico (DM) e dei dispositivi di protezione individuale (DPI) basati sulla filtrazione dell'aria. Seguendo lo spirito del bando dettato dall'emergenza pandemica, INRiM ha supportato, con ore di lavoro del personale, con la messa a disposizione di attrezzature e con la taratura di strumenti, la ditta Fonderia Mestieri Srl che ha avuto l'ambizione di realizzare una stazione di verifica della certificazione. La stazione di Fonderia Mestieri Srl opera oggi come laboratorio esterno di un ente certificatore e permette di controllare la qualità dei prodotti già in commercio nonché di certificare prodotti di nuova realizzazione, venendo a colmare un vuoto nelle disponibilità della Nazione.

La revisione del Sistema Internazionale del 2019 ha introdotto una nuova definizione dell'ampere, legata a un valore fissato della carica elementare. L'articolo discute la realizzazione pratica delle unità elettriche per mezzo dei fenomeni elettrici quantistici, che divengono di anno in anno maggiormente accessibili, affidabili e user-friendly.

L. Callegaro, "A quantum ampere", *tm-technisches messen*, vol. 87, n. 4, pp. 258-265, 2020.

Il progetto EMPIR 16NRM01 GRACE *Developing electrical characterisation methods for future graphene electronics* è terminato nel 2020 con la pubblicazione di due Good Practice Guides sulla caratterizzazione elettrica del grafene con metodi con e senza contatto. Le guide sono ora la base di due progetti di normativa internazionale dell'International Electrotechnical Commission (IEC), Technical Committee TC113 *Nanotechnology for electrotechnical products and systems*.

A. Fabricius, A. Cultrera, A. Catanzaro, "Good Practice Guide on the electrical characterization of graphene using non-contact and high-throughput methods." (2020), ISBN: 978-88-945324-2-5. "Good Practice Guide on the electrical characterisation of graphene using contact methods." (2020), ISBN: 978-88-945324-0-1.

Progetto EMPIR Food-MetNet per la creazione di una rete europea sulla salute alimentare che vede coinvolti 9 istituti metrologici europei e una rete di laboratori di riferimento, istituti metrologici non europei e enti di regolamentazione.

Come coordinatore dello EMN-Q European Metrology Network for Quantum Technologies dello Ivo Pietro Degiovanni è stato invitato a partecipare al Quantum Café, organizzato da DG CONNECT (EC), e a fare una presentazione su "Quantum sensing and metrology" e sulla "European Metrology Network". Hanno preso parte delegazioni appartenenti a: Commissione Europea (DG CNECT, DG GROW, JRC, DG RTD), Consiglio Europeo, European Defense Agency, Research Executive Agency, European Research Council, European Space Agency.

*EC Quantum Café (25th June 2020 Luxembourg, Virtual talk)*

L'INRiM, nell'ambito del coordinamento dello European Metrology Network for Quantum Technologies, è diventato membro del CEN-CENELEC Focus Group Quantum Technologies (FGQT, costituitosi nel mese di Aprile 2020), un *High Level Expert Group* europeo che rappresenti il punto di riferimento per la Commissione Europea per le attività di standardizzazione per le tecnologie quantistiche, e che ha l'obiettivo di definire una Roadmap europea sulla standardizzazione delle tecnologie quantistiche.

*CEN-CENELEC Focus Group Quantum Technologies (FGQT) e UNI-ISO Mirror Group FGQT*

Articolo nelle attività di KT verso la società Leonardo SpA, finanziato da ASI ed ESA per la realizzazione di un prototipo di orologio compatto ad alta stabilità per applicazioni spaziali utilizzando la tecnologia POP (Pulsed Optically Pumped) in vapori di Rb, per migliorare le prestazioni degli orologi di bordo di Galileo, riducendo al contempo massa consumi e volume.

Calosso, Claudio Eligio; Gozzelino, Michele; Godone, Aldo; et al." *Intensity Detection Noise in Pulsed Vapor-Cell Frequency Standards*" *IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL*, Volume: 67 Issue: 5 Pages: 1074-1079 Published: MAY 2020

INRiM partecipa al gruppo di lavoro della Commissione Europea per la creazione di una rete europea di comunicazione quantistica: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum>. La EuroQCI integrerà tecnologie quantistiche e sistemi convenzionali di comunicazione per rafforzare la sicurezza della trasmissione dati e delle infrastrutture critiche. I primi servizi erogheranno Quantum Key Distribution su fibra

ottica e su trasmissione satellitare.

*European Quantum Communication Infrastructure*

Nel 2020 QN ha rinnovato l'infrastruttura Galileo, con particolare attenzione agli aspetti di sicurezza della rete e all'architettura software, per migliorare ulteriormente il livello di affidabilità dei servizi offerti. L'infrastruttura supporta le attività previste dai diversi contratti ESA e GSA attivi, e contribuisce allo sviluppo del sistema Galileo per la validazione degli aspetti di timing del sistema, e allo studio e sperimentazione di nuovi servizi di timing che possano irrobustire e sostenere i servizi offerti dal sistema Galileo.

*INRIM Galileo Infrastructure*

QN ha sviluppato, in collaborazione con l'azienda SKK, un prototipo di un nuovo trasmettitore per confronti remoti di orologi e scale di tempo mediante tecnica Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT), che sfrutta la tecnologia SDR.

*M. Siccardi, T. T. Thai, D. G. Rovera, I. Sesia, "A TWSTFT Transmitter Prototype Compatible with SDR Receivers and SATRE Modems," in Proc. IFCS-ISAF 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/IFCS-ISAF41089.2020.9234873*

## 9.4 – IL PANORAMA DEI PRODOTTI 2020 DELL'INRiM

I prodotti dell'INRiM, così come le attività delle Divisioni descritte nella Parte 2 – Schede di attività, sono stati suddivisi nelle tre seguenti categorie:

- Ricerca e Sviluppo (R&S)
- National Metrology Institute (NMI)
- Knowledge Transfer (KT)

Le due tabelle successive riportano la sintesi delle pubblicazioni dell'Istituto, mostrando prima il loro andamento nell'ultimo triennio e in seguito la distribuzione nelle Divisioni per l'anno 2020.

**Tabella 8 – Sintesi delle pubblicazioni nel periodo 2018-2020 suddivise tra R&S, NMI e KT**

Tipologia	2018				2019				2020			
		R&S	NMI	KT		R&S	NMI	KT		R&S	NMI	KT
Monografie	3	1	1	1	2	-	-	2	4	3	1	-
Articoli su riviste indicizzate (2020: IF medio <sup>1</sup> = 4.2)	146	114	26	6	167	130	35	2	194	161	31	2
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	30	14	7	9	10	7	-	3	24	17	4	3
Articoli su atti di congresso	42	24	15	3	57	33	22	2	44	27	14	3
Rapporti tecnici	23	8	13	2	23	7	16	-	43	20	21	2
<b>Totali</b>	<b>244</b>	<b>161</b>	<b>62</b>	<b>21</b>	<b>259</b>	<b>177</b>	<b>73</b>	<b>9</b>	<b>309</b>	<b>228</b>	<b>71</b>	<b>10</b>

<sup>1</sup> IF medio 2019: 3.8; IF medio 2018: 4.1

**Tabella 9 – Distribuzione delle pubblicazioni 2020 nelle Divisioni (R&S, NMI e KT)**

Tipologia	ML			AE			QN			PRES/DS/SIR	TOT		
	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT		R&S	NMI	KT
Monografie	-	-	-	1	1	-	2	-	-	-	3	1	-
Articoli su riviste indicizzate	66	10	1	38	12	1	55	9	-	2(PRES e DS <sup>6</sup> )	161	31	2
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	6	-	-	7	2	3	4	2	-	-	17	4	3
Articoli su atti di congresso	16	3	-	5	3	3	5	8	-	1(SIR <sup>7</sup> )	27	14	3
Rapporti tecnici	1	3	-	17	8	1	2	10	1	-	20	21	2
<b>Totali</b>	<b>89</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>68</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>68</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>228</b>	<b>71</b>	<b>10</b>

La tabella 10 riporta i dati relativi ad altri prodotti dell'Istituto, mostrando in particolare il panorama dei progetti su contratto e delle attività NMI dell'INRiM (servizi conto terzi, CMC e confronti internazionali).

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 e alla conseguente possibilità di emettere certificati di taratura e di misura con

<sup>6</sup> Pubblicazioni del Presidente e del Direttore Scientifico

<sup>7</sup> Pubblicazione del personale dei Sistemi Informatici

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), nell'esercizio della Valutazione delle Attività di terza Missione 2011-2014 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 11.

**Tabella 10 – Progetti, attività servizi conto terzi e altri prodotti**

Descrizione	2018			2019			2020		
	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT
Progetti di ricerca attivi nell'anno	61	11	24	50	29	25	53	29	27
di cui nuovi	21	3	14	14	10	11	14	7	12
Certificati di taratura e misura		1.882			1.624			1.585	
Rapporti di prova e relazioni		27			40			49	
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider)			145		138			115	
CMC pubblicate sul KCDB del BIPM		402			403			419	
Laboratori accreditati <sup>8</sup>		196			206			219	
Procedure di taratura		245			213			236	
Documenti e procedure del Sistema Qualità		33			26			24	
Confronti chiave e internazionali		33			47			55	
On site peer review visits (di NMI stranieri)		1			1			1	
Progetti di strumenti, apparati o impianti	10	5	-	12	7	1	17	5	1
Manufatti e realizzazioni di rilievo	6	7	3	17	14	2	20	24	3

<sup>8</sup>. Laboratori accreditati dal Dipartimento ACCREDIA-DT con il supporto tecnico dell'INRiM.

Nella tabella seguente sono invece riportati i principali prodotti/attività di trasferimento delle conoscenze.

**Tabella 11 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica**

Descrizione	2018	2019	2020
	<i>KT</i>	<i>KT</i>	<i>KT</i>
Certificati di taratura e misura <sup>9</sup>	1.882	1.624	<b>1.585</b>
Rapporti di prova e relazioni <sup>9</sup>	27	40	<b>49</b>
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider) <sup>9</sup>	145	138	<b>115</b>
Brevetti <sup>10</sup> depositati in Italia o all'estero	-	-	<b>3</b>
Estensioni di brevetto all'estero	1	1	-
Dottorati (triennali) attivati nell'anno	7	5	<b>6</b>
Tesi concluse nell'anno (dottorato)	14	12	<b>13</b>
Totale percorsi per laurea magistrale (tesi II livello)			<b>20</b>
Tesi di II livello	20	8	<b>10 concluse nel 2020 10 in corso</b>
Tirocini curriculari /tesi per laurea triennale	-	60	<b>32</b>
Tesi di I livello	17	24	<b>16 concluse nel 2020</b>
Tirocini extracurriculari post laurea magistrale	-	2	-
Tirocini extracurriculari post diploma	-	19	<b>20</b>
Stage PCTO (ex ASL) per scuola secondaria di II grado	-	32	<b>4</b>
Ricercatori stranieri presso INRiM (mesi-persona)	29	36	<b>22</b>
Ricercatori INRiM all'estero (mesi-persona)	30	17	<b>11</b>
Seminari INRiM di esperti esterni	22	15	<b>1</b>
Organizzazione congressi, convegni, scuole, seminari e riunioni tecniche	25	29	<b>22</b>
Organizzazione/partecipazione ad eventi di divulgazione scientifica	26	17	<b>11</b>
Web communications (eventi, giornate internazionali e nazionali, congressi, seminari, progetti, workshop, meeting)	-	-	<b>49</b>
Media communications	153	82	<b>38</b>
Comunicati stampa			<b>10</b>

<sup>9</sup> Si vedano le indicazioni riferite alla tabella 8.

<sup>10</sup> 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".

## 10 – LE PUBBLICAZIONI

La pubblicazione scientifica svolge molti ruoli differenti nella ricerca scientifica. È sicuramente necessaria per ampliare la conoscenza scientifica, per condividere i risultati scientifici, per certificare la qualità della ricerca svolta ed è un veicolo di trasmissione tra i ricercatori per promuovere un dialogo sulle attuali conoscenze e per stimolare uno sguardo al futuro della scienza.

Lo strumento più utilizzato per conoscere il valore di una pubblicazione scientifica è l'impact factor (IF) che misura il numero medio di citazioni ricevute, nell'anno di riferimento considerato, dagli articoli pubblicati da una rivista scientifica nei due anni precedenti: è pertanto un indicatore della performance dei periodici scientifici, che esprime l'impatto (l'influenza, la popolarità o l'autorevolezza) di una pubblicazione sulla comunità scientifica di riferimento. L'IF è calcolato sulla serie storica degli articoli di una rivista e cerca di ovviare al fatto che la maturazione di un articolo dal punto di vista delle citazioni è sondabile solo nel futuro; si tratta di una modalità necessaria per poter avere il quadro del valore di un articolo, anche se il numero di citazioni ottenute nel tempo dall'articolo stesso sarebbe la metrica più corretta di valutazione.

Anche l'ANVUR, in entrambi gli esercizi di Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR), come criterio prevalente per la valutazione dei contributi in riviste (ovvero articoli scientifici) ha utilizzato l'analisi bibliometrica, ovvero l'Impact Factor (IF) della rivista ospitante l'articolo e le citazioni della pubblicazione.

Nel 2020 è stata avviata la Valutazione della Qualità della Ricerca 2015-2019, che, a causa dell'emergenza COVID-19, è stata rimandata di alcuni mesi rispetto alla programmazione prevista; l'esercizio di valutazione, avviato in via definitiva a ottobre 2020, si protrarrà per tutto il primo semestre del 2021, e riguarderà non solo la valutazione dei prodotti della ricerca ma anche la valutazione delle attività di Terza Missione, coinvolgendo buona parte del personale dell'INRiM.

Le tabelle successive mostrano il panorama degli articoli pubblicati nell'ultimo triennio e, per l'anno 2020, il dettaglio relativo alle tre Divisioni (i dati, ripartiti tra R&S, NMI e Terza Missione, sono riportati anche nelle tabelle 8 e 9 nel capitolo precedente).

L'elenco dei prodotti 2020 è contenuto nel documento "Risultati e dati 2020".

**Tabella 12 – Pubblicazioni 2018-2020**

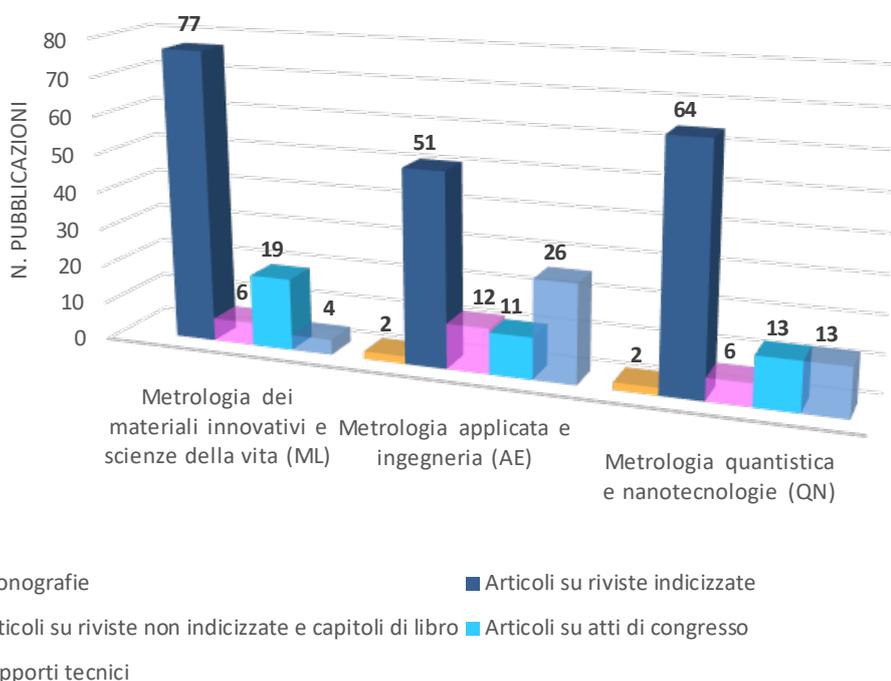
Tipologia	2018	2019	2020
Monografie	3	2	4
Articoli su riviste indicizzate (2020: IF medio <sup>1</sup> = 4.2)	146	167	194
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	30	10	24
Articoli su atti di congresso	42	57	44
Rapporti tecnici	23	23	43
<b>Totali</b>	<b>244</b>	<b>259</b>	<b>309</b>

<sup>1</sup> IF medio 2019: 3.8; IF medio 2018: 4.1

**Tabella 13 – Distribuzione delle pubblicazioni 2020 nelle Divisioni**

Tipologia	ML	AE	QN	PRES/DS/SIR	TOT
Monografie	-	2	2	-	4
Articoli su riviste indicizzate	77	51	64	2(PRES e DS <sup>11</sup> )	194
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	6	12	6	-	24
Articoli su atti di congresso	19	11	13	1(SIR <sup>12</sup> )	44
Rapporti tecnici	4	26	13	-	43
<b>Totali</b>	<b>106</b>	<b>102</b>	<b>98</b>	<b>3</b>	<b>309</b>

Il grafico a seguire mostra l'apporto delle singole Divisioni, prendendo in considerazione tutte le tipologie di pubblicazione riportate nella tabella.



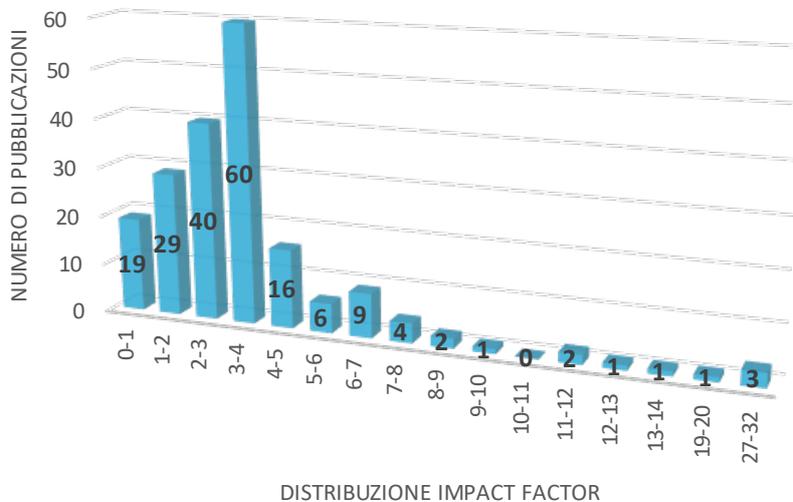
Prendendo in considerazione le sole pubblicazioni su rivista indicizzata (banche dati Wos e Scopus), è possibile ricavare alcuni dati che mostrano come la produzione dell'INRiM si sia evoluta negli ultimi anni, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo.

<sup>11</sup> Pubblicazioni del Presidente e del Direttore Scientifico

<sup>12</sup> Pubblicazione del personale dei Sistemi Informatici

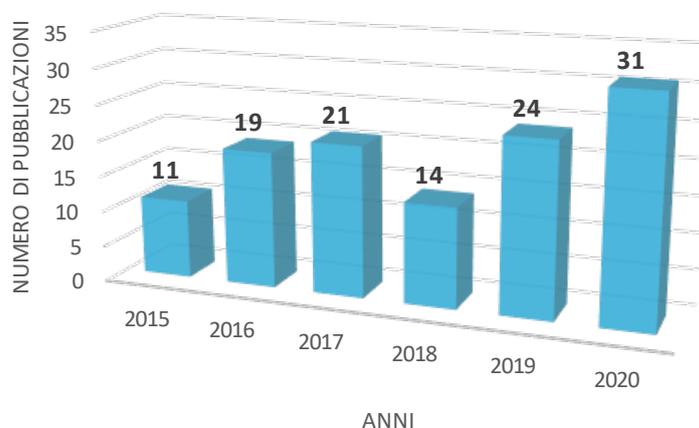
Nel grafico a seguire i parametri utilizzati si basano sostanzialmente su due criteri:

- il numero di pubblicazioni su rivista indicizzata con IF dell'anno 2020 con almeno un autore INRiM;
- la distribuzione per IF delle riviste scientifiche su cui si è pubblicato.



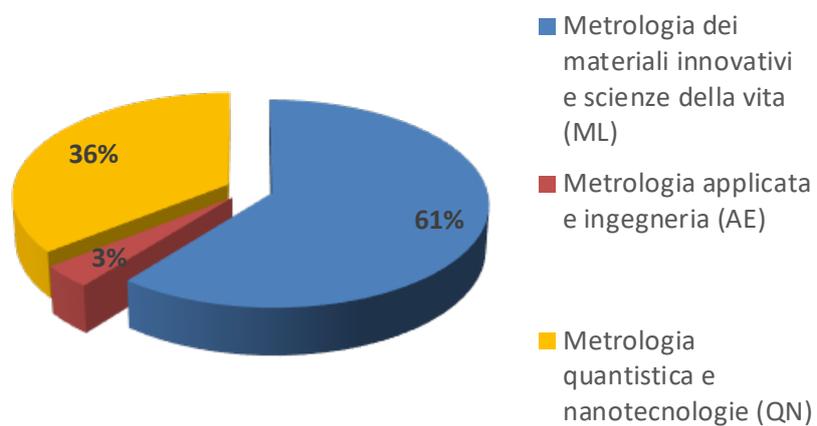
L'istogramma qui proposto indica sulle ascisse l'IF delle pubblicazioni, scalato per valori da 0 a 32, e nelle ordinate il numero di pubblicazioni raggruppate per IF.

Il grafico seguente riporta invece il numero di pubblicazioni indicizzate, prodotte tra il 2015 e il 2020, con un valore di IF maggiore di 5; l'andamento del grafico evidenzia che le pubblicazioni INRiM con il valore di IF considerato sono in progressivo aumento e sono triplicate dall'inizio del quinquennio.



Pubblicazioni 2015-2020 con IF maggiore di 5.

La distribuzione, nelle Divisioni, delle pubblicazioni 2020 con IF maggiore di 5 (rilevate nell'istogramma precedente) è riportata nel grafico a seguire.



*Pubblicazioni 2020 con IF maggiore di 5: distribuzione nelle Divisioni.*

## 11 – I SERVIZI ATTIVITA' CONTO TERZI

L'INRiM si propone il mantenimento degli attuali servizi e lo sviluppo di nuove capacità di misura con relativi servizi a supporto delle richieste di riferibilità, provenienti dai settori dell'industria e della pubblica amministrazione.

L'INRiM, nel suo ruolo di Istituto Metrologico Nazionale, ha messo a disposizione del Sistema Paese un'articolata attività di servizi di taratura, misura e prova, offrendo differenti tipi di servizi nel campo della meccanica, della termodinamica, del tempo e frequenza, dell'elettricità, della fotometria e dell'acustica.

L'attività di taratura e misura è stata svolta, supportata sia dalle oltre 400 capacità di misura e taratura (CMC) riconosciute a livello internazionale nell'ambito dell'Accordo di Mutuo Riconoscimento CIPM-MRA, sia da ulteriori servizi proposti nell'ambito delle funzioni di Istituto Metrologico Primario italiano.

Sono state svolte attività di prova anche come laboratorio dell'Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE, membro del LOVAG - Low Voltage Agreement Group) rilasciando test report LOVAG ACAE.

Sulla base delle esigenze dei committenti, sono stati organizzati diversi circuiti di confronti interlaboratorio (ILC) di taratura nelle aree di metrologia termica, elettrica e magnetica, acustica, della massa e delle grandezze ad essa apparentate e di tempo e frequenza.

Sono proseguite le attività di indagine istruttoria del tavolo di lavoro sulle attività conto terzi, ed i risultati saranno presentati nei primi mesi del 2021.

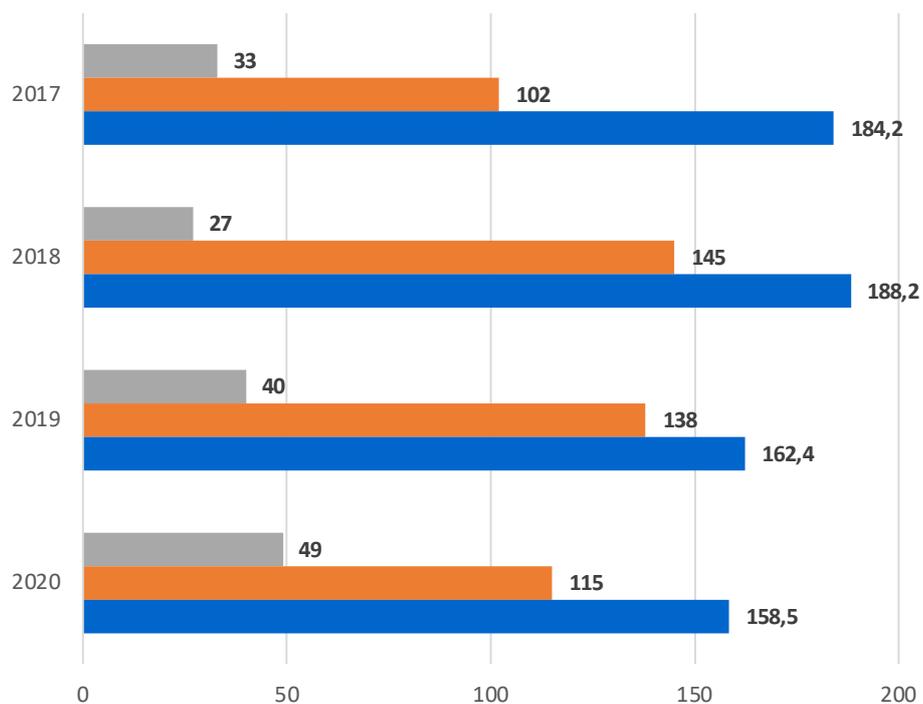
Nel 2020 sono stati emessi dall'Istituto 1.585 certificati di taratura e misura nelle diverse aree metrologiche e 49 tra rapporti di prova, test report LOVAG ACAE e relazioni. Sulla base delle esigenze dei committenti, sono stati proposti 40 circuiti di confronti interlaboratorio (ILC) di taratura e sono state emesse 115 relazioni di confronto ILC.

Nella tabella e nel grafico a seguire sono riportati i dati relativi ai documenti emessi nel passato quadriennio.

**Tabella 14 – Documenti servizi conto terzi emessi nel quadriennio 2017- 2020**

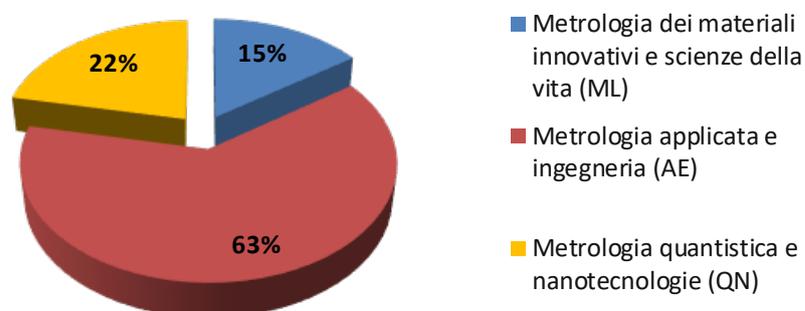
<b>ANNO</b>	<b>CERTIFICATI DI TARATURA E MISURA</b>	<b>RELAZIONI ILC</b>	<b>RAPPORTI DI PROVA E RELAZIONI</b>
<b>2017</b>	1.842	102	33
<b>2018</b>	1.882	145	27
<b>2019</b>	1.624	138	40
<b>2020</b>	1.585	115	49

■ RAPPORTI DI PROVA E RELAZIONI   ■ RELAZIONI ILC   ■ CERTIFICATI DI TARATURA / x10

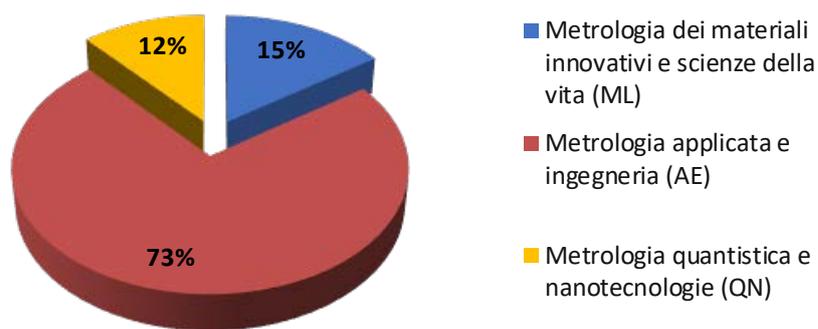


*Documenti emessi nel quadriennio 2017-2020.*

Nei grafici successivi viene mostrato l'apporto (in percentuale) delle singole Divisioni, sia in termini di numerosità di documenti emessi che in termini di entrate incassate a seguito delle prestazioni effettuate.



*Documenti emessi dalle Divisioni nel 2020.*



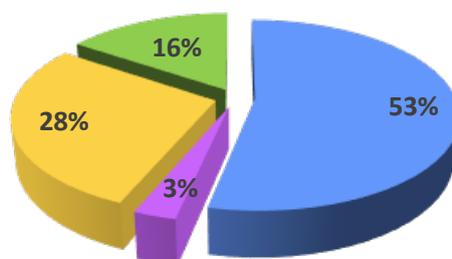
*Ripartizione dell'incassato 2020 tra le Divisioni.*

## 12 – I PROGETTI

L'INRiM finanzia la propria attività di ricerca partecipando ai programmi di finanziamento di ricerca internazionali, europei, nazionali e regionali, ma anche sottoscrivendo convenzioni e accordi con industrie nell'ambito dell'attività di ricerca commissionata; l'attività progettuale con cui l'INRiM integra le risorse del FOE è sintetizzata nella tabella e nel relativo grafico a seguire, che si riferiscono ai dati sui progetti attivi nel 2020.

**Tabella 15 – Distribuzione, per tipologia, dei progetti attivi nel 2020**

ENTE FINANZIATORE	NUMERO PROGETTI PER TIPOLOGIA DI FINANZIAMENTO	FINANZIAMENTO TOTALE PROGETTI (k€)	% SUL TOTALE
Unione Europea (H2020)	65	12.817	53%
Enti di ricerca, Fondazioni, Organizzazioni, Agenzie (internazionali)	9	689,5	3%
MIUR, MISE, Università, Enti di Ricerca, Regione Piemonte e Fondazioni (nazionali)	16	6.759	28%
Industrie nazionali e internazionali	19	3.733	16%
<b>Totale</b>	<b>109</b>	<b>23.998,5</b>	<b>100%</b>



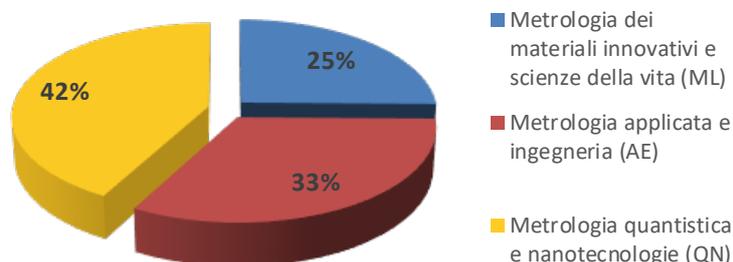
- UNIONE EUROPEA
- Enti di ricerca, fondazioni, organizzazioni, agenzie internazionali
- MUR, MISE, università, enti di ricerca, Regione Piemonte e fondazioni nazionali
- Industrie nazionali e internazionali

*Distribuzione dei finanziamenti dei progetti attivi nel 2020.*

I dati sopra rappresentati non si riferiscono ai finanziamenti introitati o da introitare nel 2020 ma riportano il finanziamento totale, come da contratto, dei progetti attivi nell'anno; sono stati considerati tutti i progetti attivi, comprendendo sia i progetti iniziati prima del 2020, che i progetti avviati nel 2020. Considerando la diversa durata della vita di ciascun progetto, il periodo coperto dai 109 progetti attivi nel 2020 si estende dal 2015 al 2023.

I grafici successivi mostrano la distribuzione percentuale dei progetti dell'INRiM nelle tre Divisioni.

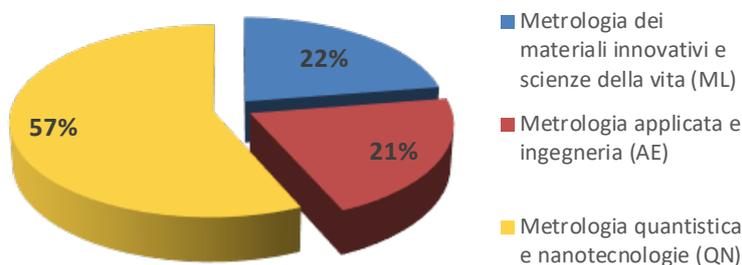
Il prospetto seguente mostra la numerosità, in percentuale, dei 109 progetti presi in esame nelle tre Divisioni, indipendentemente dalle tipologie riportate nella tabella iniziale.



*Distribuzione, nelle Divisioni, dei progetti attivi nel 2020.*

Nel grafico a seguire sono invece indicate le distribuzioni percentuali di ciascuna Divisione riferite al finanziamento da progetti, indipendentemente dalle tipologie riportate nella tabella 15.

A differenza della tabella 15, che tiene conto di tutti i progetti dell'INRiM distinti per tipologia, qui non sono inclusi i progetti della Regione Piemonte *PiQuET - Piemonte Quantum Enabling Technology* (INFRA-P) e *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare* (INFRA-P), in quanto progetti di natura interdivisionale per la creazione di infrastrutture strategiche; il finanziamento totale ricevuto dall'INRiM per i due progetti, che si sviluppano tra il 2018 e il 2021 (i progetti sono stati prorogati a causa dell'emergenza COVID-19) è di 2.740 k€



*Distribuzione, nelle Divisioni, dei finanziamenti relativi ai progetti attivi nel 2020.*

I progetti finanziati dalla Commissione Europea in cui è coinvolto l'INRiM sono 65 e, poiché costituiscono il 53% del totale dei finanziamenti esterni, sono un segnale di forte partecipazione dei ricercatori INRiM alle attività di ricerca scientifica di interesse europeo. I progetti fanno tutti parte di Horizon 2020, il programma quadro dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione per il periodo 2014-2020.

Di grande rilievo per l'Istituto sono i due progetti vinti in ambito ERC (*European Research Council*), l'organismo dell'Unione europea che finanzia i ricercatori di eccellenza di qualsiasi età e nazionalità che

intendono svolgere attività di ricerca di frontiera negli Stati membri dell'UE o nei paesi associati. L'INRiM è coordinatore di entrambi i progetti, ovvero *An ultracold gas plus one ion: advancing Quantum Simulations of in-and-out-equilibrium many-body physics (PlusOne)* (finanziato per un valore complessivo di 1.496 k€ in 5 anni) concluso nel 2020, e *Pre-commercialization of stable and compact lasers for atom based quantum technologies (SLAQ)* che, iniziato a maggio 2020, terminerà a ottobre 2021 portando all'INRiM un finanziamento di 150 k€ complessivi. Da segnalare anche la partecipazione dell'INRiM, in qualità di parter terzo, al progetto ERC *Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)*, progetto coordinato dal Politecnico di Torino ma "unfunded" per l'INRiM.

Sono proseguite nel 2020 le attività legate ai progetti MSCA (Marie Skłodowska Curie Actions) *Magnetoelectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetoelectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)* e *Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)*, ai quali l'INRiM partecipa in qualità di partner con un finanziamento complessivo di 522 k€

Sono proseguiti nell'anno anche i progetti H2020 *Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)*, *Photonic and nAnomeTric High-sensitivity biO-Sensing (PATHOS)* e *Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)* (finanziati per un totale di 925 k€)

Nel 2020 l'INRiM ha avviato la partecipazione ai tre seguenti progetti del programma quadro europeo, che porteranno all'Istituto un finanziamento complessivo di 617 k€ circa in tre anni:

- *Clock Network Services - Design Study (CLONETS-DS)* (coordinato da GEANT VERENIGING – Netherlands)
- *Highly sensitive detection of single microwave photons with coherent quantum network of superconducting qubits for searching galactic axions (SUPERGALAX)* (coordinato dal CNR)
- METROFOOD-PP (METROFOOD-RI Preparatory Phase Project) (coordinato dall'Enea; INRiM partecipa come partner terzo)

Dei 65 progetti finanziati dall'Unione Europea, 54 sono progetti EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research), il programma avviato nel 2014 da EURAMET (la rete europea per la promozione della collaborazione per la ricerca e lo sviluppo tecnologico nel campo della metrologia) pensato come parte integrante di Horizon 2020 e destinato alla ricerca nel campo della scienza delle misure.

Il programma EMPIR si è sviluppato attraverso una serie di calls, lanciate tra il 2014 e il 2020 e focalizzate su tematiche strategiche denominate Targeted Programmes (TPs), a cui l'INRiM ha partecipato in collaborazione con gli altri enti metrologici europei, allo scopo di avviare nuovi progetti strategici per la metrologia.

Dei 54 progetti EMPIR attivi nel 2020, 15 sono nuovi progetti che sono stati avviati nell'anno e che sono stati selezionati all'interno della call EMPIR 2019, dedicata ai temi Energy, Environment, Normative, Research Potential, Support for Networks e Support for Impact. L'INRiM è coordinatore di 5 dei nuovi progetti, mentre il finanziamento complessivo Euramet ricevuto per i 15 progetti è di circa 1,8 M€

- EMPIR 19ENG06: Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion (HEFMAG) **(coordinamento INRiM)**
- EMPIR 19NRM05: Measurement methods and test procedures for assessing accuracy of instrument transformers for power quality measurements (IT4PQ) **(coordinamento INRiM)**
- EMPIR 19NRM06: Metrology for testing the implementation security of quantum key distribution hardware (MeTISQ) **(coordinamento INRiM)**
- EMPIR 19SIP03: Climate Reference Station (CRS) **(coordinamento INRiM)**
- EMPIR 19NET02: Support for a European Metrology Network on quantum technologies (EMN-Quantum) **(coordinamento INRiM)**
- EMPIR 19ENV08: Advanced aerosol metrology for atmospheric science and air quality (AEROMET II)
- EMPIR 19ENG05: High throughput metrology for nanowire energy harvesting devices (NanoWires)

- EMPIR 19RPT02: Improvement of the realisation of the mass scale (RealMass)
- EMPIR 19ENG07: Metrology for enhanced reliability and efficiency of wind energy systems (Met4Wind)
- EMPIR 19NET01: Support for a European Metrology Network on advanced manufacturing (AdvManuNet)
- EMPIR 19ENV05: Stable isotope metrology to enable climate action and regulation (STELLAR)
- EMPIR 19SIP06: Increasing the comparability of extreme air temperature measurements for meteorology and climate studies (COAT)
- EMPIR 19NRM07: Support for standardisation of high voltage testing with composite and combined wave shapes (HV-COMP)
- EMPIR 19NRM04: Standardisation of structural and chemical properties of graphene (ISO-G-SCoPE)
- EMPIR 19RPT01: Quantum traceability for AC power standards (QuantumPower)

I restanti 39 progetti EMPIR, avviati tra il 2017 e il 2019 e proseguiti nel 2020, sono stati selezionati all'interno delle calls 2016, 2017 e 2018. Grazie a questi progetti (10 coordinati dall'INRiM) l'Istituto ha acquisito un finanziamento complessivo che ammonta a circa 7,4 M€ L'elenco completo è riportato nell'Appendice 2.

Una fetta più ridotta dell'impegno dei ricercatori dell'INRiM sui progetti è quella rappresentata dai progetti internazionali con altri enti di ricerca, fondazioni, organizzazioni per la difesa, agenzie spaziali. Il minor numero di progetti e il loro peso poco significativo sul finanziamento complessivo è tuttavia compensato dal prestigio degli organismi con cui l'INRiM interagisce, alcuni dei quali, per motivazioni diverse, sono interlocutori di eccellenza nel panorama mondiale.

Dei nove progetti indicati nella tabella riassuntiva, due hanno come oggetto il supporto dell'INRiM al *Galileo Reference Center (GRC MS 2 e GRC MS3)*, nell'ambito di una collaborazione con l'Agenzia Spaziale Francese (CNES - Centre Spatial de Toulouse) e con l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare (European GNSS Agency - GSA). Sempre in ambito spaziale, sono proseguiti nel 2020 altri due progetti che hanno come interlocutori l'Agenzia Spaziale Francese, l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare e l'European Space Agency (ESA). Il progetto *Egnos-SPMS*, con l'obiettivo di contribuire alla validazione degli aspetti di timing di EGNOS (il sistema europeo di completamento al GPS), e il progetto *Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)* che mira a sostituire accelerometri basati su sensori capacitivi con altri basati su interferometria laser.

Significativa 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-X)* 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. Più recentemente INRiM è entrata a far parte del consorzio degli Stati Membri che supportano una nuova facility Galileo Reference Center (GRC) nelle sue validazioni indipendenti del sistema, mettendo a disposizione l'esperienza decennale accumulata per le attività riguardanti il timing. Inoltre INRiM è coinvolto

nel test delle performance di un nuovo ricevitore di timing Galileo dedicato ad infrastrutture critiche e sviluppato da TAS-I nell'ambito di un progetto di ricerca GSA. Da poco si è firmato un ulteriore contratto per supportare TAS-I nello sviluppo di una Time Generation Unit integrata capace di generare una scala di tempo fisica partendo da un ensemble di orologi atomici in ingresso con performance allo stato dell'arte, su contratto ESA.

Di particolare rilievo sono anche i due progetti avviati con la NATO, l'Organizzazione del Trattato dell'Atlantico del Nord per la collaborazione nel settore della difesa: il progetto *Analysis, design and implementation of an End-to-End QKD link over a 400 km Distance (QKD)* terminato nel 2020 e il progetto *Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)* che proseguirà fino al 2021.

Ha visto la sua conclusione nel 2020 anche il progetto *Agent-based irreversibility in quantum theory (FQXi)* finanziato, tramite bando competitivo, dalla Silicon Valley Community Foundation (California – USA).

Nell'ambito delle collaborazioni con altri enti di ricerca, si segnala il progetto *SYNERGIA* commissionato da ETH - Swiss Federal Institute of Technology, che è concluso nel 2020 con un finanziamento per l'INRiM di 196 k€, nel 2020 è stato invece avviato il nuovo progetto *Superconducting Devices Characterization* commissionato dal National Metrology Institute of Japan.

I progetti attivati con organismi nazionali costituiscono, dopo i progetti H2020, la più cospicua fonte di finanziamento per l'INRiM, grazie anche all'apporto dei Progetti Premiali.

Il MUR, 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 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 giunti a conclusione alla fine del 2020, per i quali ha ottenuto un finanziamento complessivo di k€ 700 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti.

- *MIUR (Progetto Premiale) - Novel quantum-based and spintronic sensors for a traceable metrology (QUANTUMET)*: 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. 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.
- *MIUR (Progetto Premiale) - Volume Photography: measuring three dimensional light distributions without opening the box (VOLUME PHOTOGRAPHY)*: 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 fotosensibili. 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.

L'INRiM partecipa anche, in qualità di partner del CNR, ad altri due progetti la cui attività si protrarrà fino al 2022, con un finanziamento complessivo pari a 730 k€ circa. Gli obiettivi dei due progetti sono descritti di seguito.

- *MIUR (Progetto Premiale) - New sensors based solutions for sustainable de-production (SENSEI)*: il progetto si propone di sviluppare tecnologie/metodologie abilitanti 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.

- *MIUR (Progetto Premiale) - Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease (Nano4Brain)*: il 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.

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MIUR, sono terminati nel 2020 i progetti PRIN 2015 *HG Doppler Spectroscopy* e *UltraCrystal* finanziato attraverso i bandi FARE (Framework per l'Attrazione e il Rafforzamento delle Eccellenze per la Ricerca in Italia). Sono proseguite nell'anno anche le attività relative al progetto PRIN 2017 *SustMetMat*. L'ammontare complessivo dei finanziamenti derivanti da PRIN e FARE è di 330 k€

Di particolare rilievo, per la quota di finanziamento che porta con sé, è la partecipazione a due progetti, conclusi nel 2020, dal titolo *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) e Distribuzione di segnali T/F campione in fibra ottica per applicazioni spaziali e a supporto del timing di Galileo (DTF-Galileo)*, finanziati dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) per un ammontare di 1.500 k€

Sono stati avviati nel 2020 i progetti *LENA* e *MISE Contatori*, attivati nell'ambito di accordi di collaborazione scientifica rispettivamente con l'Università di Pavia e il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

E' giunto a conclusione nel 2020 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€

Tramite finanziamento da bando competitivo, sono state avviate nel 2020 le attività legate al progetto *ViRaDEP*, finanziato da Fondazione CRT con 22 k€

A testimoniare il ruolo attivo dell'INRiM nell'intrattenere rapporti proficui anche con la realtà locale in cui è inserito, sono i progetti, particolarmente importanti per gli introiti incassati dall'Istituto, finanziati dalla Regione Piemonte; ottenuti 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, hanno portato all'INRiM un finanziamento complessivo di 2.840 k€, che permetterà la nascita di nuove infrastrutture dedicate (in fase di costruzione):

- *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) (1.900 k€);
- *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 (840 k€);
- *HOME - Hierarchical Open Manufacturing Europe* (POR-FESR 2014/2020): progetto dedicato allo sviluppo futuro dell'industria manifatturiera in Europa (103 k€).

I finanziamenti provenienti dai progetti commissionati dall'industria costituiscono una parte minima dei finanziamenti esterni dell'INRiM; sono dunque necessari dei miglioramenti per diventare più competitivi in progetti con ricadute industriali, poichè l'INRiM ne ha le potenzialità. La ricerca dell'Istituto, infatti, è contraddistinta anche da presupposti che favoriscono il processo di trasferimento di conoscenza e tecnologia verso il mondo produttivo, attraverso strumenti e metodi innovativi capaci di attrarre l'interesse delle aziende.

Dei 19 progetti con industrie citati nella tabella riassuntiva, sei si sono conclusi nel 2020, portando all'INRiM un finanziamento complessivo di 977 k€, di particolare importanza, poiché riguarda attività legate alla European Space Agency (ESA), è il progetto *FOC Exploitation*, che da solo ha portato nelle casse dell'Istituto 600 k€ in quattro anni. Di seguito si riporta l'elenco dei progetti e delle aziende committenti:

- *Galileo Exploitation Phase System and Service Support Activities (FOC Exploitation)*, finanziato da ESA tramite Thales Alenia Space Italia;
- *Design e realizzazione di celle elettrolitiche (UME-TUBITAK-CELLS)*, commissionato da TUBITAK UME (National Metrology Institute, Turchia);
- *NGGM Proof of Concepts activities (NGGM-POC)*, commissionato da Thales Alenia Space Italia S.p.A.;
- *Certificazione laboratorio mobile (CERT.LAB.MOB.)*, finanziato da Autostrade per l'Italia S.p.A.;
- *ZeroNoise*, commissionato da TecnoLab del Lago Maggiore S.r.l.;
- *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;

Sono proseguite nel 2020 le attività sviluppate dai seguenti progetti, tra i quali spicca il progetto *TSP GSOp*, legato all'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare (European GNSS Agency - GSA), che è stato finanziato per 1.864 k€

- *Time Service Provider (TSP GSOp)*, finanziato da GNSS tramite Spaceopal;
- *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.;
- *Attività di validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)*, commissionato dall'azienda IAM Srl;

Sono invece stati avviati nel 2020 dieci nuovi progetti finanziati da industrie (per un ammontare complessivo di 789 k€), le cui attività si distribuiranno tra il 2020 e il 2021; tra questi progetti, elencati di seguito, è di particolare rilievo, per il valore del finanziamento ottenuto, il progetto *Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)* commissionato da OpenFiber Spa con un introito di 280 k€

- *Modelli di architettura e di gestione del sistema e delle reti elettriche e della regolazione che favoriscano l'integrazione di generazione rinnovabile e non programmabile, autoproduzione, accumuli, comunità dell'energia e aggregatori*, commissionato da RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE SpA;
- *“Tecnologie, architetture e standard per Fiber Optic Quantum Communications” (FIBEROPTIC)*, commissionato da Leonardo SpA;
- *Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)* commissionato da OpenFiber Spa;
- *GNSS Smart Traceability and Anti-spoofing (GALIST)*, commissionato dall'azienda ORIGOSAT.
- *Contratto interfacce tattili (BITRON\_C\_202004)*, commissionato da BITRON SpA;
- *JUICE*, commissionato da Thales Alenia Space Italia SpA;
- *TUV*, commissionato da TUV ITALIA Srl;
- *POP-PAYLOADS*, commissionato da Leonardo SpA;
- *ASTRA*, commissionato da EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.;
- *ORION*, commissionato da EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.

Il panorama completo dei progetti è disponibile nelle tabelle in Appendice 2.

## 13 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE

L'INRiM ha anche compiti di Terza Missione, come indicato dallo Statuto art. 3 al c. 1 “L'INRiM inoltre valorizza, diffonde e trasferisce conoscenze e risultati della ricerca allo scopo di favorire lo sviluppo del Paese nelle sue varie componenti.” e al c. 4 “L'INRiM promuove e stipula accordi e convenzioni con il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e con il Ministero dello Sviluppo Economico, per l'individuazione e la disciplina delle relazioni tra la ricerca e le applicazioni nei campi della metrologia; analoghe convenzioni, nell'ambito delle risorse disponibili, possono essere stipulate per le finalità di cui al presente statuto con altri Ministeri interessati ed Enti nazionali e internazionali.”.

La declaratoria delle attività delle Divisioni indica con più dettaglio l'attività di Terza Missione: “Fostering, releasing and transferring the available knowledge to the economy and to society at large; this includes applied research, training and knowledge transfer, attention to companies, advice to the public administration, support to the economy, and standardization.”

L'attività di Terza Missione può essere suddivisa in:

- valorizzazione economica della conoscenza;
- coinvolgimento culturale e sociale (public engagement).

### 13.1 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: L'UFFICIO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO (UTT)

La costituzione di un *Ufficio di Trasferimento Tecnologico* (UTT) coordinata da un *Funzionario di Trasferimento Tecnologico* (TTO – *Technology Transfer Officer*) è avvenuta all'inizio del 2020. L'intenzione è di rilanciare la Terza Missione, non assente in INRiM ma lasciata primariamente all'iniziativa individuale senza coordinamento, supporto e promozione centrale. Per sua natura, questa iniziativa si colloca a metà fra le Direzioni Scientifica e Generale, e la composizione mista dello UTT riflette questa natura.

Intimamente collegato con lo UTT è il progetto RiTeM (*Rilancio della Terza Missione*) della durata di tre anni (2020-07/2023-06), reso possibile da un finanziamento competitivo concesso dal MiSE – Ufficio italiano Brevetti e marchi. I fondi ottenuti permetteranno l'assunzione di un'unità di personale nel ruolo di *Technology Transfer Manager* per la durata del progetto.

In questa fase iniziale di vita dello UTT, le sue attività e quelle di RiTeM si fondono e si rendono spesso indistinguibili: il compito di RiTeM è proprio di rilanciare l'attività di terza missione mediante lo UTT.

La creazione e sfruttamento della proprietà intellettuale è al centro delle attenzioni di tutti i valutatori della ricerca, soprattutto di quella con ricaduta tecnologica. Le statistiche indicano che il numero di brevetti depositati dall'Italia, pur sostenuto (3 % del totale mondiale), non è al pari con quello di altre nazioni europee, Germania in testa (15 %) <sup>13</sup>. Il portafoglio IPR dell'INRiM consiste a fine 2020 di 16 famiglie brevettuali attive (più 7 dismesse), e 4 licenze di concessione di know-how e di distribuzione di software. Purtroppo, meno ricco è invece il numero di brevetti che sono stati o sono effettivamente sfruttati.

Il brevetto è, per un ente di ricerca pubblico che ha come scopo principale l'avanzamento della conoscenza, un punto di equilibrio compromesso fra due opposti obiettivi: da un lato, la diffusione libera della conoscenza in un'ottica *Open Science*; dall'altro, il sostegno alle imprese, che, per investire per lo sfruttamento di un'invenzione, richiedono la preventiva protezione a tutela. Dunque il brevetto ha senso ed efficacia, e dev'essere perseguito con determinazione, quando ha concrete probabilità di sfruttamento; altrimenti, è un inutile costo e un possibile impiccio all'utilizzo libero della conoscenza. Naturalmente, non è possibile prevedere con precisione quali brevetti saranno sfruttati davvero e si deve assumere un rischio; è però necessario uno sforzo genuino e sistematico di previsione delle reali possibilità prima di procedere al deposito, rivalutata periodicamente per decidere sulle fasi successive (estensioni, rinnovi, ecc.).

L'esperienza dei grandi brevettatori insegna che trova effettivo sfruttamento una frazione piccola di brevetti in portafoglio, non necessariamente i più interessanti scientificamente, e spesso in grado di compensare, e

---

<sup>13</sup> Fonte: [Rapporto annuale 2018](#) dell'EPO – European Patent Office.

talvolta superare, i costi dell'intero portafoglio. Date le piccole dimensioni dell'INRiM e la prevedibile consistenza limitata del suo portafoglio, questa legge probabilistica dei grandi numeri gioca a sfavore. La probabilità di successo potrebbe aumentare perseguendo i brevetti in conto terzi; essi discendono da attività di ricerca congiunta con, o commissionata da, soggetti dichiaratamente interessati, e il cui sfruttamento è regolato fin dall'inizio negli accordi contrattuali. Per gli altri brevetti, depositati prima d'individuare i licenziatari, è invece richiesta azione di promozione presso le aziende.

### **Obiettivi**

- Disporre d'informazioni centralizzate e puntuali su tutte le famiglie brevettuali e sugli altri strumenti di privativa.
- Diffondere fra i colleghi la conoscenza e familiarità con gli strumenti di privativa, perché ciascuno possa considerarli a ragion veduta.
- Aiutare gli inventori a comprendere le potenzialità di sfruttamento, e a valutarne insieme l'opportunità di deposito e d'eventuali internazionalizzazioni, formulando piani d'azione.
- Monitorare il portafoglio per rivalutare di anno in anno se e quali azioni siano necessarie, sia di promozione sia di rinnovo o abbandono.
- Nel lungo periodo, raggiungere la parità di bilancio fra costi di deposito e mantenimento e ricavi per royalties; per le dimensioni dell'INRiM, questo obiettivo è assai ambizioso e richiederà inversioni di tendenze su un periodo pluriennale.

### **Attività**

- S'è avviata la raccolta sistematica di informazioni sui titoli in portafoglio.
- Si sono svolti incontri personali con inventori di brevetti già in portafoglio o futuri, per discutere insieme delle opportunità e di azioni future.
- Si sono valutati a richiesta documenti legali, quali accordi di riservatezza o di deposito congiunto di brevetto.
- Si è ideato, descritto e presentato il progetto RiTeM, in risposta al bando emesso dal MiSE, che è stato selezionato per il finanziamento. Si sono quindi attivate le procedure per la selezione del tecnologo previsto con funzione di *Technology Transfer Manager*.
- Si è partecipato a vari eventi di formazione specifica, in particolare organizzati dalla rete NETVAL.

### **Risultati**

- Una cartella condivisa fra i membri dello UTT con la raccolta di tutto il materiale tecnico e amministrativo.
- Sette colloqui con inventori per inquadramento e indirizzamento, con la stesura di una scheda di valutazione unificata a seguito di ciascuno.
- Il materiale necessario per il reclutamento del tecnologo per RiTeM.
- Il progetto di una tabella di previsione pluriennale dei costi attesi di tutti i brevetti, e di una analoga di registrazione a consuntivo.
- La partecipazione a due seminari/workshop di formazione specifica.

### **13.2 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: ATTIVITA' DI SUPPORTO AD ACCREDIA**

L'attività di Terza Missione dell'INRiM comprende anche le attività di supporto ad ACCREDIA - Ente Italiano di Accreditamento, che vengono effettuate nell'ambito della convenzione stipulata fra INRiM ed ACCREDIA, rinnovabile ogni tre anni.

Le attività svolte per ACCREDIA sono state eseguite dal personale dell'INRiM presente negli Elenchi degli Ispettori/Esperti Tecnici ACCREDIA, su incarico dei dipartimenti di taratura ACCREDIA-DT e dei laboratori di prova ACCREDIA-DL.

Le attività dell'INRiM oggetto della convenzione INRiM-ACCREDIA hanno riguardato:

- a) Attività di valutazione (§ 2 a della convenzione)

Le attività di valutazione, sia di carattere gestionale/sistemico che tecnico, svolte annualmente dagli Ispettori INRiM, sono consistite in:

- esame documentale/stesura rapporti tecnici per accertamenti sperimentali;
- valutazioni sul campo, presso i laboratori di Taratura e/o Prova, per i processi di accreditamento, sorveglianza programmata e non, rinnovo, estensione o riduzione.

- b) Attività di Supporto Tecnico Scientifico (§2 b della convenzione)

Le attività principali eseguite dal personale dell'INRiM hanno riguardato:

- la partecipazione ai gruppi di lavoro;
- la preparazione e la docenza in corsi di formazione;
- la preparazione di documenti tecnici e linee guida.

Nella seguente tabella sono riportate le attività svolte per i 219 Laboratori di taratura accreditati fino al 31-12-2020, in cui sono stati coinvolti gli Ispettori/Esperti Tecnici dell'INRiM.

**Tabella 16 – Attività supporto all'accREDITAMENTO laboratori 2020**

<b>Attività</b>	<b>N.</b>
Nuovi accreditamenti	13
Estensioni + Riduzioni	63
Rinnovi	34
Sorveglianze	54
Accertamenti sperimentali	6

Il numero delle sorveglianze è aumentato rispetto all'anno 2019 a causa della transizione dei Centri LAT dall'ISO/IEC 17025:2005 alla nuova norma ISO/IEC 17025:2017.

Nel corso del 2020 sono stati coinvolti nelle attività previste dalla convenzione INRiM - ACCREDIA 17 dipendenti INRiM, fra cui:

- n. 14 Ispettori ACCREDIA-DT
- n. 1 Ispettore ACCREDIA-DL
- n. 2 Esperti Tecnici ACCREDIA-DT

Per il dipartimento di taratura di ACCREDIA sono state impiegate in totale n. 127 giornate uomo per un fatturato 56.720,66 €

Per il dipartimento di prova di ACCREDIA sono state impiegate in totale 11,5 giornate uomo per un fatturato di

5.849,96 €

I dettagli delle tipologie delle attività svolte sono riportati nella seguente tabella.

Dipartimento	ATTIVITÀ svolte nel 2020				Fatturato in €
	Esame documentale g/u	Valutazione su campo g/u	Accertamento sperimentale g/u	Supporto tecnico scientifico	
ACCREDIA-DT	52	70	3	2	56.720,66
ACCREDIA-DL	1,5	10	-----	-----	5.849,96
<b>Totale fatturato</b>					<b>62.570,62</b>

Nella tabella successiva sono presentati i dettagli delle attività svolte nel 2020 dagli Ispettori/Esperti INRiM appartenenti alle tre Divisioni dell'Istituto.

Nella terza colonna i numeri indicati a fianco di ogni singola attività sono da intendersi come giornate uomo svolte.

#### AE - Metrologia applicata e Ingegneria

Area Attività	Qualifica	Tipologia attività (giorni uomo)
Lunghezza	n. 1 Ispettore Tecnico	Valutazioni su campo (3) Accertamenti sperimentali (0,5)
Lunghezza	n. 1 Esperto Tecnico	Supporto tecnico-scientifico (1)
Sistema Qualità e Massa	n. 1 Ispettore di Sistema e Tecnico	Analisi documentale (5) Valutazioni su campo (6)
Massa e Grandezze derivate	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (7,5) Valutazioni su campo (7,5) Accertamenti sperimentali (1)
Portate	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (4,5) Valutazioni su campo (9,5)
Forza	n. 1 Esperto Tecnico	Analisi documentale (1)
Accelerometria, Forza	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (10) Valutazioni su campo (7,5) Accertamenti sperimentali (0,5)
Temperatura	n. 2 Ispettori Tecnici	Analisi documentale (4) Valutazioni su campo (14,5) Accertamenti sperimentali (0,5)
Temperatura + Umidità	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (13) Valutazioni su campo (8,5) Accertamenti sperimentali (0,5)
Metrologia Elettrica	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (1)
Metrologia Elettrica	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (1,5) Valutazioni su campo (10)
Chimica	n. 1 Esperto Tecnico	Supporto tecnico-scientifico (1)

#### ML - Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Area	Qualifica	Tipologia attività (giorni uomo)
Acustica	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (2) Valutazioni su campo (5,5)
Lunghezza + Biologia	n. 1 Ispettore Tecnico	Valutazioni su campo (2)

**SCDS - Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica**

<b>Area</b>	<b>Qualifica</b>	<b>Tipologia attività (giorni uomo)</b>
Sistema Qualità	n. 1 Ispettore di Sistema	Analisi documentale (2) Valutazioni su campo (3)

Le strutture dell'INRiM coinvolte sono le seguenti:

- AE - Metrologia applicata e Ingegneria con 124 g/u, circa 90% del volume attività.
- ML - Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita con 9,5 g/u, circa 7% del volume attività.
- SCDS – Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica con 5 g/u, circa 3% del volume attività.

**13.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA**

L'INRiM è riconosciuto come laboratorio di prova dell'Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE, membro del LOVAG - Low Voltage Agreement Group) e rilascia test report LOVAG ACAE su specifiche prove.

L'attività è svolta quasi prevalentemente dal personale del Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti (LATFC) della sede di Corso Massimo d'Azeglio (la sede storica dell'INRiM a Torino) che, oltre all'attività di disseminazione, realizza attività di prova di importanti parametri elettrici, rivolte alla verifica e validazione di sicurezza e di risparmio energetico per le apparecchiature elettriche civili ed industriali.

Nel 2020 sono stati emessi 49 tra rapporti di prova, test report LOVAG ACAE e relazioni.

### **13.4 - ATTIVITÀ DI COINVOLGIMENTO CULTURALE E SOCIALE: IL PUBLIC ENGAGEMENT**

Con l'espressione 'Public Engagement' si vuole indicare l'insieme delle iniziative di comunicazione più idonee e appropriate, con valore educativo, culturale e di sviluppo, atte a traslare i benefici dell'istruzione e i risultati della Ricerca nella Società, attraverso la condivisione e la disseminazione. Le azioni di public engagement permettono di instaurare relazioni stabili di ascolto, dialogo e collaborazione tra i ricercatori e i cittadini, gli studenti di tutte le età, gli insegnanti, le istituzioni e le imprese del territorio.

In quest'ottica, l'INRiM si propone di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✓ diffondere una maggiore conoscenza della scienza delle misure nella scuola italiana
- ✓ contribuire alla diffusione della cultura scientifica presso la cittadinanza, con particolare attenzione alle giovani generazioni
- ✓ offrire opportunità di formazione agli studenti delle scuole e delle Università
- ✓ offrire opportunità di aggiornamento per i docenti delle scuole
- ✓ rendere l'INRiM un polo di attrazione per giovani talenti

Le attività svolte dal Settore Interdivisionale Coordinamento e Divulgazione Scientifica nel 2020 hanno riguardato i seguenti ambiti.

#### **Diffusione della cultura scientifica/metrologica**

Organizzazione di visite ai laboratori INRiM da parte di alcune scuole. Le visite sono state sospese a partire dal mese di marzo a causa dell'emergenza sanitaria globale determinata dalla pandemia da Covid-19.

Ideazione e realizzazione di contenuti per le campagne internazionali di divulgazione scientifica, promosse dall'European Association of National Metrology Institutes (EURAMET) e dal Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) rispettivamente per il World Health Day (7 aprile) e il World Metrology Day (20 maggio):

- redazione di testi divulgativi, articoli e interviste a ricercatori INRiM, in collaborazione con l'UO Comunicazione;
- creazione sul sito INRiM di pagine web, in italiano e in inglese, dedicate ai due eventi;
- predisposizione di testi e immagini per i canali social.

Produzione della rassegna di videoconferenze Cocktail di Scienza per l'adesione dell'INRiM all'iniziativa Settimane della Scienza, promossa dall'Associazione CentroScienza Onlus:

- progettazione dell'iniziativa, coinvolgendo 15 ricercatori e tecnologi e una ditta esterna per le riprese e il montaggio dei video;
- organizzazione delle riprese e collaborazione con i videomaker nella fase di post-produzione dei filmati;
- ideazione e realizzazione della grafica e dell'immagine coordinata dell'iniziativa;
- realizzazione di testi di promozione per il sito e i canali social dell'INRiM, sui quali i video sono stati pubblicati nel mese di agosto secondo un piano editoriale.

Ideazione e organizzazione di iniziative per la Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori:

- pubblicazione di cinque videoconferenze, tratte dalla rassegna Cocktail di Scienza, sul sito web dell'INRiM per "Aspettando la Notte", il programma di avvicinamento alla Notte dei Ricercatori coordinato dagli organizzatori della manifestazione a Torino;
- produzione di 4 filmati per la sezione "Finestre sulla Ricerca della Notte dei Ricercatori";
- organizzazione di 4 interventi live per la sezione "Maratona della Ricerca".

Contributo all'organizzazione di interventi di ricercatori INRiM per la Biennale Tecnologia per le Scuole.

Avvio del progetto di divulgazione scientifica "A scuola di metrologia", rivolto agli studenti delle scuole superiori, in collaborazione con sei colleghi ricercatori e con l'UO Comunicazione (riunioni on-line e stesura della prima bozza del progetto).

Partecipazione a riunioni on-line dell'Osservatorio d'Area del Quartiere Mirafiori Sud per la promozione di attività didattiche extrascolastiche sul territorio e una presenza sempre più incisiva in questo ambiente.

Partecipazione a riunioni on-line, coordinate dall'Associazione CentroScienza, per discutere e promuovere progetti di divulgazione scientifica a livello locale e nazionale.

Partecipazione a riunioni on-line organizzate da EURAMET per ideare una campagna di divulgazione per il World Health Day coordinata a livello europeo e costituita da immagini, slogan e temi condivisi.

Partecipazione all'EURAMET Communication Workshop (16 dicembre 2020).

Divulgazione scientifica per i progetti di ricerca EURAMET MyRailS e MICEV:

- predisposizione di contenuti (testi, immagini e video) per l'aggiornamento del sito web e della pagina Facebook del progetto MyRailS;
- organizzazione del Workshop Finale del progetto MyRailS;
- contributo all'organizzazione del Workshop Finale del progetto MICEV.

Realizzazione di slide di presentazione dell'INRiM per il Direttore Scientifico.

### **Organizzazione/gestione dei tirocini curriculari, extracurriculari, di orientamento e dei PCTO**

Raccolta delle proposte di tirocini curriculari per laurea triennale e di tesi magistrali da parte dei colleghi ricercatori e tecnologi. Presentazione delle proposte INRiM al Politecnico di Torino in occasione della giornata "Time for Job" (ex Infostage) e sul portale Stage&Job del Politecnico. Promozione dell'offerta di tirocini anche presso l'Università di Torino.

Assistenza agli studenti e ai colleghi nelle fasi di avvio dei tirocini e delle tesi.

Predisposizione di una procedura per l'avvio dei tirocini al tempo del Covid-19.

Coordinamento di tirocini extracurriculari per neodiplomati.

Organizzazione e tutoraggio di stage per studenti delle scuole superiori nell'ambito dei Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (PCTO, L.107/2015).

Consulenza ai colleghi per l'inserimento in stage di tirocinanti/studenti e giovani provenienti da altri Paesi.

In riferimento alle attività sopra descritte, sono stati ottenuti i seguenti risultati.

Adesione dell'INRiM a iniziative di divulgazione scientifica, a livello locale, nazionale e internazionale:

- World Health Day;
- World Metrology Day;
- Settimane della Scienza;
- Biennale Tecnologia per le Scuole;
- "Aspettando la Notte" (programma di avvicinamento alla Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori);
- Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori.

Realizzazione di 17 filmati di divulgazione scientifica:

- 13 filmati per la rassegna Cocktail di Scienza (realizzata per le Settimane della Scienza);
- 4 filmati per la Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori.

Incremento dei *follower* dei profili social dell'INRiM grazie alle centinaia di visualizzazioni ottenute dai video pubblicati su questi profili.

Organizzazione di conferenze e laboratori didattici:

- 2 laboratori didattici per la Biennale Tecnologia per le Scuole, proposti a oltre dieci classi;
- 4 conferenze per la Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori.

Attività di divulgazione scientifica per i progetti di ricerca MyRailS e MICEV:

- realizzazione di 22 filmati in collaborazione con l'agenzia di comunicazione Reverb;
- aggiornamento del sito web del progetto;
- aggiornamento del profilo Facebook del progetto e raggiungimento di 1200 follower;
- promozione del Workshop Finale del progetto MyRailS;
- promozione del Workshop Finale del progetto MICEV.

Promozione di tirocini curriculari per laurea triennale e tesi magistrali presso il Politecnico e l'Università degli Studi di Torino.

Conclusione di 20 tirocini extracurriculari per neodiplomati, di cui 19 avviati nel 2019 e uno avviato nel 2020.

Attivazione di due Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (PCTO). Il numero di PCTO attivati nel 2020 è stato limitato dalla pandemia da Covid-19.

Nell'ambito della comunicazione, gli obiettivi strategici di riferimento sono la promozione dell'ente, la comunicazione e promozione della ricerca scientifica e delle attività di terza missione; in particolare i compiti che l'INRiM si prefigge sono di:

- ✓ programmare e coordinare le attività di comunicazione
- ✓ sviluppare e presidiare l'immagine coordinata
- ✓ coordinare, gestire e sviluppare i siti web istituzionali
- ✓ pianificare e gestire la comunicazione social
- ✓ supportare le attività di comunicazione interna
- ✓ supportare la progettazione e la realizzazione di progetti e di materiale di comunicazione
- ✓ gestire i rapporti con i media

Gli strumenti attraverso i quali l'UO Comunicazione svolge la propria funzione attraverso la comunicazione delle attività di ricerca (e non solo), sono i seguenti:

- **Portale INRiM**
- **Stampa e media** locali e nazionali
- **Social network**
  - *Facebook*: pagina istituzionale dell'INRiM
  - *Youtube*: canale Youtube dell'INRiM, che ospita i video riguardanti l'attività di ricerca istituzionale.

- *LinkedIn*: Social network orientato al mondo del lavoro

- **Intranet**

L'Intranet è uno spazio web accessibile da rete interna soltanto al personale INRiM. I contenuti sono principalmente di carattere informativo e organizzativo, utili ad agevolare il lavoro dei dipendenti e la condivisione di contenuti.

Si segnala in particolare la sezione Science books, con tre blog dedicati alle divisioni di ricerca, in cui poter condividere contenuti di carattere specialistico.

Nel 2020 sono state svolte le seguenti attività:

- **Stesura del progetto di revisione del portale**

il portale INRiM è stato sviluppato a partire dal 2016 e terminato nel 2017 con il consorzio interuniversitario CINECA. Al fine di individuare le aree di miglioramento del portale è stata fatta un'analisi dello stesso.

- **Realizzazione dell'immagine coordinata**

è stata realizzata una proposta di immagine coordinata.

- **Comunicazione dei seguenti eventi, pianificati dall'Istituto, attraverso gli strumenti sopra descritti:**

- Congressi
- Seminari
- Progetti
- Workshop
- Meeting
- Eventi a carattere nazionale e internazionale

- **Media Communications**

- **Comunicati stampa**

L'emergenza epidemiologica ha richiesto una modifica degli obiettivi e spostato l'attenzione dell'UO su altri temi.

Sono nate le campagne di comunicazione sullo smart working, da una parte volte superare la sensazione di isolamento che alcuni possono aver vissuto nella fase di lockdown "*Smart&Smile*".

E' stato realizzato un video informativo sul lavoro agile e materiale grafico a supporto delle comunicazioni della Direzione generale. Di particolare rilievo, anche la realizzazione di una rubrica sulle attività INRiM legate alla solidarietà nell'emergenza "*La scienza del dare*".

Sono stati realizzati video informativi sul corretto uso dei dpi e una campagna di informazione per comunicare la sicurezza nella fase 2 dell'emergenza, materiale informativo e cartellonistica per la diffusione delle Linee guida per l'emergenza sanitaria.

Il periodo emergenziale ha visto il fiorire di una proficua collaborazione con gli altri EPR, dalla quale è nato un progetto fortemente voluto dai Presidenti a supporto delle scuole per la didattica a distanza.

Si è trattato nello specifico di realizzare una piattaforma utilizzando il portale INDIRE nella quale ogni EPR ha potuto caricare dieci video didattici e divulgativi.

Le attività di Public Engagement dell'INRiM svolte nel 2020 sono descritte più in dettaglio nel documento Risultati e dati 2020 (sezione Knowledge Transfer).

### 13.5 - L' ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE

Nell'ambito della Terza Missione, parte delle attività del personale INRiM sono dedicate anche a:

- collaborazione ad attività formative istituzionali svolte dalle Università (rivolta agli studenti);
- formazione continua o permanente (rivolta a personale di imprese, enti pubblici e scuole che necessiti di ampliare la propria formazione professionale).

#### Alta formazione

L'Alta Formazione, in collaborazione con il mondo accademico, coinvolge una parte del personale dell'INRiM, che svolge attività di docenza sia a livello locale, presso il Politecnico di Torino e l'Università degli Studi di Torino, che presso altre realtà accademiche nazionali (Università di Firenze, Università del Piemonte Orientale, Università di Pavia, Università degli Studi Roma Tre).

Nel corso del 2020, 34 tra ricercatori e tecnologi dell'Istituto si sono dedicati ad attività di docenza all'interno di corsi di laurea, master e dottorati di ricerca.

Un ulteriore prestigioso punto di contatto con il mondo universitario è rappresentato dal Corso di Dottorato in Metrologia (<https://www.inrim.it/formazione/dottorato-metrologia>), attivato attraverso una convenzione stipulata tra l'INRiM e il Politecnico di Torino, enti che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico. Studenti di dottorato svolgono la loro attività di ricerca presso i laboratori dell'INRiM, seguiti da tutor interni e/o accademici. Inoltre, ricercatori e tecnologi INRiM svolgono con regolarità corsi di dottorato su tematiche di metrologia. È prevista l'attivazione di uno sportello INRiM per il dottorato, in collaborazione con le analoghe realtà del Politecnico e dell'Università, che possa fare da punto di riferimento per i dottorandi. Sono in corso iniziative di coordinamento in ambito Euramet relativamente alle attività di dottorato in metrologia che coinvolgono diversi NMI.

I ricercatori e tecnologi sono impegnati anche in attività di sostegno e formazione degli studenti laureandi, che in INRiM hanno la possibilità di seguire qualificati tirocini curriculari e di trovare supporto per le tesi di Laurea Magistrale.

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate all'Alta Formazione per l'anno 2020.

**Tabella 17 – Attività di Alta Formazione svolte nel 2020**

Corsi di didattica universitaria (corsi di laurea, master e dottorati di ricerca) erogati	<b>38</b>
Ore di didattica universitaria complessivamente erogate	<b>795</b>
Ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti	<b>34</b>
Corsi di dottorato in convenzione	<b>1</b>
Studenti di dottorato attivi nell'anno	<b>41</b>
Supporto a studenti per tesi di laurea magistrale (II livello)	<b>20</b>
Tesi di II livello	<b>10 concluse nel 2020</b> <b>10 in corso</b>
Tirocini curriculari /tesi per laurea triennale	<b>32</b>
Tesi di I livello	<b>16 concluse nel 2020</b>

## Formazione Permanente

La nozione di Formazione Permanente (“lifelong learning”) si basa sull'assunto che il bagaglio di conoscenze, abilità e competenze apprese durante la fase della formazione iniziale (scuola e università) non sia, da solo, sufficiente a svolgere i compiti lavorativi in modo efficace. La formazione adulta è una componente fondamentale del lifelong learning e consiste in attività formative rivolte ai soggetti adulti, al fine di adeguare o di elevare il loro livello professionale.

L'INRiM attiva corsi di formazione di argomento metrologico rivolti a soggetti adulti, che coinvolgono il personale di imprese, enti di ricerca e di certificazione, associazioni, nonché i docenti di scuole di ogni ordine e grado.

A richiesta si tengono seminari sul Sistema Internazionale e si partecipa in qualità di docenti ad eventi formativi proposti da associazioni; l'INRiM propone agli insegnanti di ogni ordine e grado seminari e corsi sperimentali per la formazione nella scienza della misura, con il coinvolgimento di studenti in attività sperimentali e possibilità di stage.

Nel corso del 2020 sono stati attivati corsi per il personale dei seguenti organismi:

- ACCREDIA
- ANGQ (Roma)
- ASIT INSTRUMENTS s.r.l.
- CODIGER
- EURAMET
- Instituto Nacional de Metrologia de Colombia
- NPL
- Physics School on Optical Metrology at EOSAM2020?
- UNITRAIN (Centro di formazione di UNI)
- TÜV Italia Akademie

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate alla Formazione Permanente per l'anno 2020.

**Tabella 18 – Attività di Formazione Permanente svolte nel 2020**

Corsi erogati	<b>13</b>
Ore di didattica erogate	<b>99</b>
Ricercatori e tecnologi coinvolti	<b>10</b>
Organizzazioni esterne che hanno fruito delle competenze dell'INRiM	<b>10</b>
di cui imprese	<b>2</b>
di cui istituzioni no profit	<b>2</b>
di cui associazioni	<b>3</b>
..... di cui enti di ricerca	<b>3</b>

## **PARTE 2 – Schede di attività**



## 1 – LA DIREZIONE SCIENTIFICA

### 1.1 – IL DIRETTORE SCIENTIFICO, IL CONSIGLIO DI DIREZIONE, LE DIVISIONI E I SETTORI SCIENTIFICI OMOGENEI

Direttore Scientifico: Pietro Asinari (dal 1° marzo 2020); Maria Luisa Rastello (dal 1° gennaio al 29 febbraio 2020)
--

#### Personale impegnato (mesi/persona)

<i>Personale</i>	<i>Mesi/persona</i>
Pietro Asinari	9,2 (dal 1° marzo)
Paola Tiberto	2,2
Michela Segà	2,2
Davide Calonico	2,2

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 2020 è la seguente:

- Pietro Asinari (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 2020 il Consiglio di Direzione ha tenuto 11 riunioni.

#### CAMPI DI ATTIVITÀ

Le Divisioni in cui si è strutturata la Direzione Scientifica nel 2020 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.

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 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 e Valutazione delle Attività di Terza Missione (VQR);
- 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;
- 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 2020-2022.

## 1.2 – IL SETTORE INTERDIVISIONALE COORDINAMENTO E DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

Responsabile: Pietro Asinari (dal 1° marzo 2020); Maria Luisa Rastello (dal 1° gennaio al 29 febbraio 2020)

### Personale impegnato (mesi/persona)

<i>Personale</i>	<i>Mesi/persona</i>
Lucia Bailo	11
Michela Borla	9
Silvia Cavallero	11
Ezio Dragone	11
Claudia Rota	11
Marina Sardi	11

### 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)

Le attività di *Public Engagement* svolte dal Settore si avvalgono della preziosa cooperazione di ricercatori, tecnologi e tecnici INRiM e comprendono l'organizzazione di visite ai laboratori INRiM da parte di scuole, associazioni e privati cittadini da ogni regione d'Italia, iniziative di divulgazione scientifica nelle scuole e corsi per insegnanti e studenti. Molte di queste attività si svolgono in collaborazione con associazioni, enti e istituzioni (CentroScienza, Agorà Scienza, Fondazione Mirafiori...).

Prima dello scoppio dell'emergenza sanitaria globale, dovuta alla pandemia da Covid-19, erano state programmate almeno una quindicina di visite da parte di classi di scuola superiore, così come la partecipazione dell'Istituto ad altre tradizionali iniziative quali "Bambini e bambine: un giorno all'Università" e "Mirafiori: Batti il 5!" per le scuole primarie e medie. Solo un paio di visite sono state effettivamente realizzate, poi le scuole hanno sospeso tutte le attività in presenza e il personale INRiM ha iniziato lo smart working.

L'INRiM ha aderito alle **Settimane della Scienza**, nella nuova formula ideata quest'anno da CentroScienza per aggirare i limiti imposti dalla pandemia. Per l'iniziativa, rinviata dal consueto periodo primaverile ai mesi di luglio e agosto, l'INRiM ha dunque proposto una **rassegna di 13 videoconferenze** a carattere divulgativo intitolata "**Cocktail di Scienza**". La rassegna è stata trasmessa sui canali social dell'Istituto, ottenendo centinaia di visualizzazioni da parte del pubblico, e su quelli dell'Associazione CentroScienza, che vanta migliaia di follower. La produzione dei video ha coinvolto 15 ricercatori e tecnologi di vari settori che hanno affrontato sia argomenti prettamente scientifici, illustrando fenomeni fisici o ricerche in corso, sia temi legati alla storia della scienza. Gli interventi sono stati pensati per offrire una vasta panoramica delle attività e delle competenze dei ricercatori INRiM e per interessare tutte le fasce di età (si segnala, ad esempio, la videoconferenza dal titolo "Il magnetismo c'è, ma non si vede" che mostra giochi ed esperimenti studiati per i più piccoli). Le riprese e il montaggio dei filmati sono stati affidati a due professionisti di alto livello, di solito impegnati nel circuito del cinema e della televisione. Il progetto ha incluso la realizzazione di una grafica e di un'immagine coordinata da parte del personale del Settore, che ha collaborato con i videomaker anche nella

fase di post-produzione dei video.

In occasione del **World Health Day** (7 aprile) e del **World Metrology Day** (20 maggio), il Settore ha ideato e realizzato una serie di contenuti da pubblicare on-line, in collaborazione con l'UO Comunicazione, permettendo così all'INRiM di aderire alle campagne internazionali di divulgazione scientifica promosse rispettivamente dall'European Association of National Metrology Institutes (EURAMET) e dal Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Oltre a contribuire alla redazione di testi divulgativi, articoli e interviste a ricercatori INRiM, il Settore ha inoltre curato la creazione, **in italiano e in inglese**, di pagine web del sito istituzionale dedicate ai due eventi e ha predisposto testi e immagini per i canali social.

Anche nel 2020 l'INRiM ha partecipato alla **Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori**, evento che si svolge di solito a fine settembre e che quest'anno è stato eccezionalmente posticipato al 27 novembre. A Torino la manifestazione, organizzata dall'Università degli Studi e dal Politecnico, è stata arricchita da un programma di avvicinamento denominato "**Aspettando la Notte**" costituito da iniziative digitali e in presenza che si sono svolte nei mesi di settembre, ottobre e novembre. Per questa occasione il Settore Interdivisionale ha creato un appuntamento settimanale sul sito web dell'INRiM attraverso la progressiva pubblicazione, avvenuta tra fine ottobre e metà novembre, di cinque videoconferenze tratte dalla rassegna Cocktail di Scienza. Gli interventi sono stati scelti in base alla loro consonanza con gli [Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda ONU 2030](#), tema dell'edizione 2020 della Notte dei Ricercatori.

Per quanto riguarda la manifestazione vera e propria, il cui programma era quest'anno costituito soltanto da iniziative digitali, il Settore ha curato la produzione di quattro videoconferenze registrate per l'iniziativa **Finestre sulla Ricerca** e l'organizzazione di quattro conferenze-interviste on-line live per la **Maratona della Ricerca**. Queste attività sono state realizzate grazie alla partecipazione di dieci ricercatori e tecnologi e con l'aiuto di una ditta esterna, che ha eseguito le riprese e il montaggio dei video. Il Settore si è inoltre occupato dell'aggiornamento del sito istituzionale e della redazione di testi promozionali da pubblicare sui canali di comunicazione gestiti dall'Università e dal Politecnico di Torino.

Nell'ambito della partecipazione dell'INRiM alla Biennale Tecnologia, promossa dal Politecnico di Torino, il Settore ha contribuito ad organizzare alcuni laboratori didattici, tenuti da due ricercatrici INRiM, che si sono svolti all'interno della sezione **Biennale Tecnologia per le Scuole** (23 ottobre – 12 novembre).

Il personale del Settore ha inoltre partecipato alle seguenti iniziative.

- avvio del **progetto di divulgazione scientifica "A scuola di metrologia"**, rivolto agli studenti delle scuole superiori in collaborazione con sei colleghi ricercatori e con l'UO Comunicazione (riunioni on-line e stesura della prima bozza del progetto);
- riunioni on-line dell'Osservatorio d'Area del Quartiere Mirafiori Sud per la **promozione di attività didattiche extrascolastiche sul territorio** e una presenza sempre più incisiva in questo ambiente;
- riunioni on-line, coordinate dall'Associazione CentroScienza, per **discutere e promuovere progetti di divulgazione scientifica a livello locale e nazionale**;
- **riunioni on-line organizzate da EURAMET** per ideare una campagna di divulgazione per il World Health Day coordinata a livello europeo e costituita da immagini, slogan e temi condivisi;
- EURAMET Communication Workshop, tenutosi on-line il 16 dicembre 2020.

Nel 2020 è proseguita l'attività di **divulgazione scientifica per i progetti di ricerca EURAMET MyRailS e MICEV**, giunti all'ultimo anno di lavori:

- predisposizione di contenuti (testi, immagini e video) per l'aggiornamento del sito web e della pagina Facebook del progetto MyRailS;
- organizzazione del Workshop Finale del progetto MyRailS;
- contributo all'organizzazione del Workshop Finale del progetto MICEV.

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

All'inizio del 2020 sono pervenute richieste da parte delle scuole di attivare per gli studenti i Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (PCTO), ex alternanza scuola lavoro. A causa della pandemia, l'attivazione di questi Percorsi non è stata possibile, se non per un paio di studenti.

Alla giornata "Time for Job" (ex Infostage) del Politecnico di Torino, tenutasi a febbraio, sono stati presentati i tirocini curricolari per la laurea triennale e le tesi magistrali. Il Settore ha inoltre gestito il popolamento delle pagine INRiM del portale Stage&Job del Politecnico. Questa stessa offerta, preparata rielaborando le proposte dei colleghi ricercatori e tecnologi, è stata pubblicizzata presso la facoltà di Fisica e di Scienza dei Materiali dell'Università di Torino (UniTO). È stata fornita assistenza agli studenti ed ai colleghi ricercatori nelle fasi di avvio dei tirocini e delle tesi, che si sono svolti in modalità mista (in parte in presenza e in parte da remoto). Il Settore ha disposto una procedura per l'avvio dei tirocini al tempo del Covid. Particolare attenzione è stata dedicata alla necessità e alla verifica della formazione per la sicurezza dei tirocinanti, seguendo le indicazioni del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione. Nell'impossibilità da parte dell'INRiM di erogare tutti i corsi necessari, ci si è rivolti al Servizio del Politecnico - che ha prestato una preziosa collaborazione - ed in parte anche a UniTO.

Nel 2020 sono proseguiti e sono stati conclusi 19 tirocini extracurricolari per neodiplomati di istituti tecnici, avviati nel 2019. Un ulteriore tirocinio è stato iniziato e concluso. Il personale del Settore, in collaborazione con la Segreteria Generale, ha seguito le varie fasi dei tirocini, che quest'anno sono stati sospesi per un periodo e quindi riavviati, prima a distanza e poi di nuovo in presenza. Sono stati mantenuti tutti i contatti con i tirocinanti, con le scuole di provenienza e i tutor scolastici. Si è operato un monitoraggio costante, fornendo supporto ai tirocinanti per ogni tipo di problematica. Le relazioni dei tirocinanti sono state raccolte e rese disponibili al Direttore Scientifico.

Si è inoltre fornita consulenza ai colleghi per l'inserimento in stage di tirocinanti/studenti o giovani provenienti da 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 2020 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 in modalità virtuale (Web meeting) dal 20 al 23 ottobre 2020, durante la quale ha valutato le performances dei QMS di una consistente frazione degli NMIs/DIs Europei. Nelle fasi preparatorie del meeting, tenutesi ad aprile, è stato valutato positivamente il rapporto annuale predisposto da SGQ INRiM.

Il Settore ha assistito il DS nell'organizzazione e nelle comunicazioni relative alla Peer review annuale (progetto EURAMET 1123 "On site peer review") sostenuta dall'Istituto in modalità remota a dicembre 2020, predisponendo la documentazione necessaria e mantenendo i contatti con i reviewers provenienti da Spagna, Portogallo, Francia e Messico, affinché potessero svolgere al meglio l'attività di revisione dei laboratori dei laboratori di Fotometria e Radiometria (Photometry, Properties of detectors and sources, Fibre optics, Properties of materials), Vibrazioni, Chimica inorganica (Advanced Materials, Food, Metals and Metals Alloys), Gravità e Durezza.

Si inquadra nell'ottica della condivisione e scambio di esperienze relative alla cultura della qualità l'attività di Reviewer svolta del personale sempre all'interno del progetto Euramet 1123, che nel 2020 si è concretizzata in due peer reviews (parte di sistema) svolte presso il ROA - Real Instituto y Observatorio de la Armada il 17-18 Nov. 2020 e presso il CEM - Centro Español de Metrologia il 25-26 Nov. 2020

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.

Personale del settore è membro del TC-IM WG “M4D” (Metrology for Digitalization) un gruppo di lavoro operante all’interno dello EURAMET TC-IM che è dapprima stato l’autore di un documento strategico per lo sviluppo della digitalizzazione in EURAMET e poi si è dato come obiettivo a lungo termine il supporto alla strategia delineata, in modo da assistere EURAMET nell’assumere un ruolo attivo nella trasformazione digitale dell’infrastruttura europea di qualità. Due progetti Euramet sono strettamente collegati al WG M4D, si tratta del proj.1448 ("Development of digital calibration certificates") e proj. 1449 ("Research data management and the European Open Science Cloud").

#### Censimento delle pubblicazioni scientifiche e dei prodotti dell’Ente e gestione dei relativi database

Il personale del Settore si è occupato della raccolta e gestione ordinaria delle pubblicazioni tecnico-scientifiche dell’Ente; per assolvere a tali compiti si è avvalso di appositi database:

- METRICA (l’archivio istituzionale della produzione scientifica INRiM, che utilizza la piattaforma IRIS - Institutional Research Information System sviluppata da Cineca)
- 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 la gestione ordinaria dei prodotti inseriti in METRICA, nel 2020 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 alle attività dei Focus Group Cineca (dedicati 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 (43 RT nel 2020).

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.

#### Valutazione della Qualità della Ricerca e Valutazione delle Attività di Terza Missione (VQR)

Tra i compiti del Settore c’è anche quello di coordinare la raccolta dei prodotti INRiM da portare in valutazione per la *Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR)* e delle *Attività di Terza Missione*.

L’esercizio di valutazione *VQR 2015-2019* è stato avviato dall’Anvur a primavera 2020, e in seguito rimandato all’autunno a causa dell’emergenza sanitaria dovuta alla pandemia da COVID-19. Con il nuovo bando, emesso a settembre 2020, hanno avuto inizio le prime fasi del cronoprogramma Anvur dedicate alle istituzioni sottoposte a valutazione.

Il personale del Settore ha provveduto ad effettuare tutte le operazioni necessarie per effettuare l’accreditamento del personale INRiM, raccogliendo le informazioni richieste dal bando e aggiornando i dati

presenti nel database loginmiur (utilizzato da Anvur come fonte delle informazioni sul personale ricercatore e tecnologo).

Sul fronte dei prodotti da portare in valutazione, il Settore ha invece gestito la fase preparatoria relativa all'Open Access, attraverso il controllo e la validazione di più di 200 prodotti, inseriti dal personale dell'Istituto nel database METRICA al fine di ottemperare alla richiesta dell'art. 8 del bando VQR.

#### Partecipazione al Gruppo per l'Open Science

Alcune unità del personale del Settore fanno parte del Gruppo per l'Open Science, istituito nel 2020 con il compito di definire proposte alle Direzioni dell'Ente in merito alle politiche di promozione, sensibilizzazione e sostegno all'apertura delle pubblicazioni scientifiche, dei dati e del software; in particolare, il Gruppo ha prodotto la Policy per l'Accesso Aperto dell'INRiM (approvata dal CS a dicembre 2020).

Tra le attività portate avanti dal Gruppo nel 2020 c'è l'aggiornamento dell'Archivio Istituzionale per le pubblicazioni (METRICA – IRIS), al fine di renderlo compatibile con la nuova Policy per l'Accesso Aperto e quindi con le richieste provenienti dalla CE e, in ambito nazionale, da ANVUR.

Il personale del Settore ha pianificato le modifiche necessarie per METRICA e le ha concordate con Cineca, testando di volta in volta le nuove implementazioni; inoltre ha redatto, con la supervisione del Gruppo OS, le linee guida per gli utenti INRiM (disponibili alla pagina intranet <https://win.ininrim.it/intranet/page/iris-doc?group=27>) sull'utilizzo delle nuove funzioni relative ai prodotti ad Accesso Aperto.

#### 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, il Settore 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 2020 il personale del Settore ha gestito e processato circa 1.700 documenti.

#### Preparazione della documentazione scientifica istituzionale prevista dallo Statuto dell'INRiM

Nel 2020 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:

- Relazione Consuntiva di attività scientifica 2019: costituisce la sintesi dei risultati scientifici conseguiti dall'istituto nell'anno, ricavati da "Risultati e dati 2019" e in accordo con la programmazione triennale dichiarata nel PTA;
- Risultati e dati 2019: 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 2020-2022: la programmazione triennale dell'Ente, richiesta annualmente dal MIUR;
- Piano Triennale di Attività 2021-2023: la programmazione triennale dell'Ente, richiesta annualmente dal MIUR.

Non è stato prodotto invece il Piano di Attuazione 2021, in considerazione della decisione del Consiglio di Direzione di sfolire la documentazione istituzionale; il documento, che riportava la programmazione delle attività per singolo anno, a partire dal 2020 sarà sostituito dalla programmazione contenuta nel PTA di riferimento.

#### 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 2020, 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.

Il Settore ha gestito le richieste di acquisto pervenute dalle Divisioni e associate ai fondi istituzionali nonché le richieste i cui fondi sono stati gestiti dalla Direzione Scientifica; le stesse, a seguito validazione da parte del Direttore Scientifico, sono state inviate agli Uffici Amministrativi.

Relativamente alle pubblicazioni Open Access soggette a pagamento, il Settore ha provveduto al controllo delle fatture pervenute e ha reperito le autorizzazioni da parte dei Responsabili a vario titolo al fine di avallare il pagamento delle stesse.

Allo scopo di censire le riviste più utilizzate, è stato creato un elenco dettagliato e utilizzato dal gruppo Open Access.

Il Settore ha provveduto a censire le associazioni a cui l'INRiM ha aderito nel corso del 2020 (nuove associazioni o rinnovi). A tal proposito è stato predisposto un elenco inerente le associazioni attive afferenti alla Direzione Scientifica; il sopra citato elenco è in costante aggiornamento.

### 1.3 – LE RISORSE UMANE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA

I dati relativi al personale della Direzione Scientifica dell'INRiM nell'ultimo quadriennio (Tempo Indeterminato e Tempo Determinato), distinti per profilo, sono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 19 - Personale TI e TD (al 31/12/2020)**

DIREZIONE SCIENTIFICA	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
<b>Tot 2020 (TI)</b>	<b>8</b>	<b>29</b>	<b>76</b>	<b>51</b>	<b>4</b>	<b>168</b>
<b>Tot 2020 (TD)</b>	<b>1</b>		<b>7</b>	<b>1</b>		<b>9</b>
<b>Tot 2019 (TI)</b>	<b>9</b>	<b>29</b>	<b>66</b>	<b>55</b>	<b>4</b>	<b>163</b>
<b>Tot 2019 (TD)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>
<b>Tot 2018</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>62</b>	<b>54</b>	<b>3</b>	<b>159</b>
<b>Tot 2017</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>53</b>	<b>4</b>	<b>151</b>

I prospetti successivi mostrano la distribuzione del personale per struttura (Divisioni e Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica).

**Tabella 20 – Distribuzione del personale TI nelle Divisioni (al 31/12/2020)**

Div	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
ML	3	10	24	13	0	50
AE	2	11	23	23	0	59
QN	3	8	28	14	0	53
SCDS			1	1	4	6
<b>Tot 2020</b>	<b>8</b>	<b>29</b>	<b>76</b>	<b>51</b>	<b>4</b>	<b>168</b>
<b>Tot 2019</b>	<b>9</b>	<b>29</b>	<b>66</b>	<b>55</b>	<b>4</b>	<b>163</b>
<b>Tot 2018</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>62</b>	<b>54</b>	<b>3</b>	<b>159</b>

**Tabella 21 – Distribuzione del personale TD nelle Divisioni (al 31/12/2020)**

Div	R&Tcnl	Tecnici	TOT
ML	3	-	3
AE	2	1	3
QN	2	-	2
<b>Tot 2020</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

La tabella a seguire riporta invece i dati relativi al personale assegnista e borsista che ha prestato servizio all'INRiM nel 2020.

**Tabella 22 – Personale non strutturato (al 31/12/2020)**

Divisione	Assegni di ricerca (NON FOE)	Borse di addestramento alla ricerca (NON FOE)
ML	7	1
AE	5	
QN	17	
<b>Totale</b>	<b>29</b>	<b>1</b>

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").

#### 1.4 – LA DISTRIBUZIONE DELLE RISORSE UMANE PER TIPOLOGIA DI ATTIVITA'

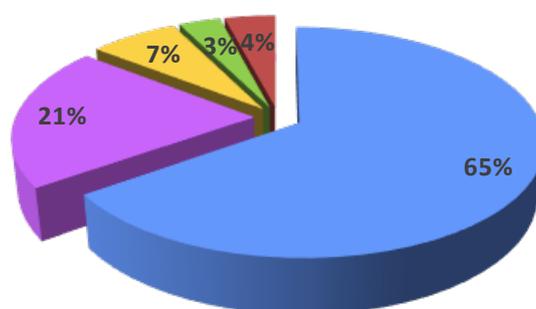
Nelle tabelle in testa a ciascun settore (riportate di seguito nella sezione dedicata a ciascuna Divisione) è riportata la distribuzione delle attività del personale tra R&S (Ricerca e Sviluppo), Ruolo NMI (mantenimento, *upgrading*, confronti internazionali e collaborazione in organismi metrologici internazionali, disseminazione), Terza Missione (Knowledge Transfer) e altre attività di Gestione e coordinamento. L'attività Ricerca e Sviluppo 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; con Ruolo NMI si è inteso evidenziare il complesso di altre attività tecnico-scientifiche che danno origine a "prodotti" specifici di un istituto nazionale di metrologia; per quanto riguarda le attività di Terza Missione, si è voluto distinguere tra Terza Missione a valenza economica e Terza Missione a valenza socio-culturale (entrambe, con modalità diverse, al servizio della società).

La tabella a seguire sintetizza la distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni secondo la tipologia di attività svolta; il grafico riporta invece la visione di Istituto, mostrata in percentuale anche nella tabella.

Le attività svolte dal personale INRiM nel 2020 sono state dedicate per il 65%, all'attività di Ricerca Scientifica (R&S), mentre le attività legate al ruolo NMI rappresentano il 21% del totale. Sia la tabella che il grafico sottostante mettono in luce il peso minore delle attività di Knowledge transfer (7% e 3%), al cui sviluppo si dovrà tendere nei prossimi anni. Infine, un 4% riguarda le attività di Gestione & coordinamento.

**Tabella 23 – Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni**

Divisione	Ricerca & Sviluppo (R&S)	Ricerca Istituzionale (Ruolo NMI)	Terza Missione a valenza economica	Terza Missione a valenza socio-culturale	Gestione & coordinamento	Totale
ML	546,5	146,5	14	33,5	19,3	<b>759,8</b>
AE	383	222,4	87,8	39,4	54	<b>786,6</b>
QN	654,3	141,9	75,4	11	22,5	<b>905,1</b>
<b>Totale</b>	<b>1583,8</b>	<b>510,8</b>	<b>177,2</b>	<b>83,9</b>	<b>95,8</b>	<b>2451,5</b>
%	<b>65%</b>	<b>21%</b>	<b>7%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>100%</b>



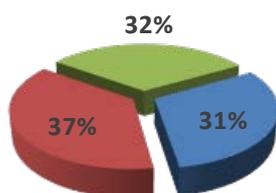
*Distribuzione dei mesi/persona 2020 per tipologia di attività.*

La tabella 24 e i grafici successivi, mostrano la distribuzione dei mesi/persona all'interno delle Divisioni, differenziando tra personale strutturato (TI e TD) e personale non strutturato (assegnisti, borsisti, dottorandi e associati). I mesi/persona totali per Divisione sono la somma delle attività sopra considerate (R&S, Ruolo NMI, Terza Missione nelle due valenze, Gestione & Coordinamento).

**Tabella 24 - Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni: strutturati e non strutturati**

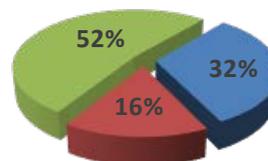
2019	Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)	Metrologia applicata e ingegneria (AE)	Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)
Totali m/p strutturati	568,55	688,1	586,4
Totali m/p non strutturati	191,25	98,5	318,7
<b>Totali</b>	<b>759,8</b>	<b>786,6</b>	<b>905,1</b>
<b>Totali in %</b>	<b>31%</b>	<b>32%</b>	<b>37%</b>

Personale strutturato



- Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)
- Metrologia applicata e ingegneria (AE)
- Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

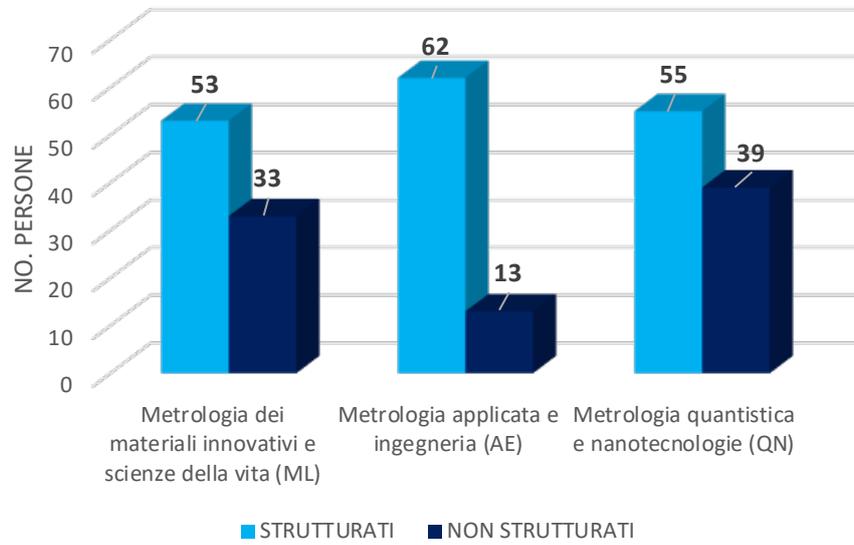
Personale non strutturato



- Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)
- Metrologia applicata e ingegneria (AE)
- Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

*Rappresentazione dei mesi-persona 2020 elencati in Tabella 24.*

L'istogramma a seguire riporta invece, comparandoli, i dati sulla numerosità del personale nelle Divisioni, tenendo conto della distinzione tra personale strutturato e non.



## 1.5 – LE DIVISIONI

### Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Responsabile: Paola Tiberto

#### Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2020

Ricercatori e Tecnologi: 40. Tecnici: 13

#### Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 21. Associati e incarichi: 12

#### 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.

SETTORE	DESCRIZIONE
ML1: Scienza e tecnologia alla nanoscala  (Nataschia 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 nanometrici 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 2020 la Divisione ha pubblicato 77 lavori su rivista internazionale (di cui 66 con Impact Factor) e ha partecipato a 27 contratti di ricerca nazionali e internazionali, molti dei quali nell'ambito dell'European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), di cui sei coordinati dalla Divisione (16ENG04 MyRailS 16ENG08 MICEV, 18HLT05 Quiero, EMPIR 19NRM05 IT4PQ per ML02, 18HLT06 Rachy per ML03 e 19ENG06 HEFMAG, ML05). 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 un nuovo progetto a coordinamento INRiM nella Call Fundamental.

Nel corso del 2020, la Divisione ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività relative alle tre 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 2020 la Divisione ha partecipato a 17 progetti di ricerca internazionali, di cui 6 coordinati da INRiM. Di seguito si riportano i risultati di maggior rilievo ottenuti nell'ambito delle diverse linee di attività nei cinque settori.

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

Sono stati sviluppati i processi di directed self-assembly tramite l'accoppiamento di tecniche litografiche convenzionali (electron beam lithography e laserwriter lithography) e materiali auto-assemblanti (nanosfere colloidali e copolimeri a blocchi) per la realizzazione di campioni di lunghezza laterale alla nanoscala. Sono anche stati studiati sistemi molecolari modello allo scopo di ottenere una tracciabilità della misura dell'enhancement factor del segnale Raman. I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

### **Materiali funzionali e metamateriali**

Sono stati simulati, realizzati e misurati otticamente campioni di metamateriali metallo/dielettrici in due configurazioni (multi-layer e in-plane) per l'aumento delle proprietà emissive di sorgenti di singolo fotone. Le simulazioni sono state eseguite con metodi di approssimazione di mezzo efficace e metodo ad elementi finiti. In base ai risultati delle simulazioni sono stati prodotti campioni utilizzando metodi classici per la deposizione di metalli e dielettrici (sputtering ed electron beam deposition) e autoassemblaggio di copolimeri a blocchi. I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

### **Analisi ottica di materiali porosi**

E' stata sviluppata attività di modellizzazione ottica e di analisi dati sperimentali per la fabbricazione e caratterizzazione di un aerogel di polietilene ad alta porosità che combini un'alta efficienza di scattering nel

range UV/VIS/NIR con un'alta trasmissività alle lunghezze d'onda tipiche della finestra infrarossa di trasparenza atmosferica. E' stato quindi sviluppato un software di simulazione T-matrix. Ha avuto luogo una collaborazione per il rilascio della versione 1.1.0 del software di simulazione Smuthi. I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

### **Fotonica tunabile in polimero**

È stata studiata e dimostrata la possibilità di controllare la risposta ottica di una struttura fotonica, quale il colore strutturale di un'ala di farfalla (*Morpho Menelaus*), tramite l'integrazione di cristalli liquidi elastomerici responsivi a variazioni di temperatura. E' stata realizzata una struttura multistrato responsiva la cui risposta ottica mostra un blue shift della riflessione per temperature crescenti.

Parallelamente sono stati svolti test di fabbricazione con Laser Writer su film sottili di strati sottili di miscela liquido cristallina per la realizzazione di attuatori foto-responsivi bidimensionali. I risultati ottenuti sono stati pubblicati su rivista.

### **Materiali polimerici disordinati e riconfigurabili per crittografia classica**

Sono stati fabbricate e caratterizzate due tipologie di funzioni fisiche non clonabili: PUF riconfigurabili e una nuova classe di PUF-multi-livello, basate su cristalli liquidi dispersi in polimero. Tramite una caratterizzazione ottica del sistema - che prevede un'interrogazione della PUF tramite delle *challenges* (profili di intensità di luce laser modulati con uno *spatial light modulator*) a cui corrispondono delle *responses*, le risposte ottiche del sistema disordinato (*speckle patterns*) - è stato dimostrato come è possibile codificare più informazione (entropia) in sistemi PUF multi livello rispetto a PUF riconfigurabili. Questo è stato possibile modificando l'organizzazione dei cristalli liquidi tramite una rete polimerica stabilizzante.

### **Dispositivi superconduttivi**

E' stato ottimizzato il processo di litografia a fascio elettronico per la realizzazione di array di nanostrisce in film sottile di niobio, nell'intervallo da 80 a 50 nm di larghezza. Le nanostrutture realizzate sono state caratterizzate dalla temperatura ambiente sino a temperature prossime e inferiori alla temperatura critica del niobio al fine di investigare il comportamento superconduttivo e gli effetti che derivano in strutture confinate. E' stato ottimizzato il processo di deposizione di un multilayer di Nb/NbO<sub>x</sub>/Au mediante DC sputtering in ultra alto vuoto e sono state caratterizzate le prime nanostrutture realizzate.

Sono stati fabbricati nanowire di Ti/Au con dimensioni variabili tra 100 e 300 nm per applicazione al conteggio di singoli fotoni sotto il THz (per nanobolometri, nanoTES). Lo spessore dei film è stato ottimizzato per ridurre la temperatura critica sotto 100 mK, valore necessario per ottenere una risoluzione energetica adeguata., sulla transizione superconduttiva.

### **Caratterizzazione elettrica di nanostrutture**

Sono state investigate le proprietà di conduzione elettronica e le proprietà memresistive di nanofili e reti di nanofili per la realizzazione di dispositivi elettronici per l'emulazione di funzionalità sinaptiche e per l'implementazione di computing neuromorfico.

### **Tomografia MR quantitativa**

Nell'ambito del progetto Quiero, è stata implementata la libreria *EPTlib*, in linguaggio C++, contenente diversi algoritmi per svolgere tomografia delle proprietà elettriche a partire da mappature di campo magnetico a radiofrequenza acquisite nel corso di un esame a risonanza magnetica. La libreria è stata condivisa in forma *open source* e utilizzata per sviluppare una valutazione dell'incertezza associata alla ripetibilità di ricostruzioni EPT. L'attività ha quindi reso disponibile una libreria di algoritmi per EPT e dataset di caratterizzazione di ripetibilità.

### **Sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici**

Sulla tematica **MRI-Safety** si sono sviluppati modelli per l'analisi del riscaldamento di protesi ortopediche metalliche soggette all'azione combinata di campi a radiofrequenza e di gradiente in tomografi a 1.5 T e 3 T. E' stato sviluppato, in collaborazione con l'Istituto Ortopedico Rizzoli, un *tool* per l'analisi del rischio di esposizione di pazienti con protesi ortopediche, a supporto della definizione di protocolli di *imaging*. Nell'ambito del progetto MIMAS, è stato completato il laboratorio per la riproduzione di campi magnetici di gradiente generati da tomografi MRI. In collaborazione con l'Istituto IMDEA (Madrid) e l'Università di Cadice si sono analizzate situazioni di pazienti portatori di protesi metalliche soggetti a **ipertermia magnetica** per il

trattamento di tumori del colon e della prostata. Lo studio ha permesso di valutare le regole di esclusione da adottare nei trial clinici per le categorie di pazienti interessati. I risultati ottenuti sono stati pubblicati su riviste ad alto IF.

### **Trasferimento wireless di potenza (WPT) per la ricarica di veicoli elettrici**

E' stata effettuata un'analisi di **incertezza delle misure on-site** di efficienza e potenza nelle stazioni di ricarica WPT, tenuto conto delle condizioni operative, quali temperatura e distorsione armonica. Le misure, eseguite nel 2019-20 in due stazioni di ricarica con la Power Measurement Unit (PwMU) sviluppata nell'ambito del progetto MICEV, hanno permesso **un'analisi comparativa** dei sistemi di misura installati presso le stazioni. Si è realizzato un modello di stazione di ricarica utile per ricostruire i CEM generati in relazione all'esposizione umana e che valutare la conformità alle norme mediante analisi dosimetrica. Infine, grazie a un sistema per la simulazione del processo di **ricarica dinamica** installato presso il Politecnico di Torino, si è effettuata un'analisi dei segnali di corrente e induzione magnetica ottenuti durante il movimento della bobina.

L'incertezza estesa delle misure condotte con la PwMU è risultata inferiore a 0.5 % tra 5 °C e 40 °C, e a 0.1 % tra 18 °C e 28 °C. Il confronto tra PwMU e sistemi installati ha confermato la fattibilità di tarature on-site di misuratori in classe 0.5.

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

Il miglioramento dell'efficienza energetica nei sistemi ferroviari e metropolitani è stato studiato mediante sviluppo di metodi di misura, tecniche di analisi e modelli circuitali per l'implementazione di una "smart grid" ferroviaria.

In relazione ai fenomeni di PQ in reti DC, due sistemi per la registrazione sincronizzata e lo *storage* di grandezze elettriche sono stati installati nella sottostazione elettrica di Forlì e a bordo di un locomotore. I dati registrati in servizio ordinario sono stati analizzati evidenziando i **disturbi di PQ**. E' stata inoltre effettuata l'analisi dei dati registrati in campagne di misura a bordo locomotore in reti ferroviarie e metropolitane, in relazione ai fenomeni di PQ e alla **stima della potenza dissipata** dai reostati di frenatura.

E' stato sottomesso un brevetto relativo al rilievo degli archi elettrici e pubblicazione di un *dataset* sugli eventi di arco elettrico riscontrati in campo.

### **Sistemi elettrici di potenza**

E' stata effettuata la caratterizzazione di sensori di tensione e corrente per misure di potenza ed energia in sottostazioni digitali e di sistemi per il monitoraggio della PQ. A questo proposito, si è messo a punto un sistema modulare per la generazione e misura di tensioni sinusoidali e distorte, estendendone le capacità all'analisi del comportamento di **sensori con uscita digitale**. E' iniziato lo studio per la caratterizzazione delle apparecchiature di conversione A/D, utilizzate per l'adattamento e sincronizzazione di segnali analogici provenienti dai trasduttori installati, con potenzialità di implementazione

di metodi di correzione della risposta dei sensori stessi (sensori Smart). Alcune prestazioni dei **sistemi di harvesting** basati su effetto magnetostrittivo sono state valutate per confronto con un modello termodinamico del sistema. In collaborazione con CESI e Terna è stato svolto uno **studio dosimetrico** sull'esposizione di lavoratori al campo magnetico prodotto da linee di trasporto dell'energia e da apparecchiature in sottostazioni elettriche durante lavori a sistema energizzato.

### **Acustica in Aria**

E' in corso lo sviluppo di tecniche di misura relative alla taratura di microfoni campioni in campo libero (camera anecoica di dimensioni ridotte) e di sistemi e metodi di misura per all'analisi dei parametri acustici relativi a trasduttori acustici di nuova generazione. A questo scopo, è stato progettato un sistema di misura, basato sulla tecnica della reciprocità, per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici basati su microsistemi elettromeccanici. Sono stati selezionati alcuni tipi di microfoni (MEMS) e componenti accessori per l'inizio della fase sperimentale di caratterizzazione metrologica.

### **Ultrasuoni**

L'attività svolta è in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health* e articolata nei seguenti settori:

Ambito farmacologico: Prosegue l'attività rivolta alla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttori ad onda piana e HIFU per il rilascio controllato di farmaci in collaborazione con l'Università di Torino.

Ambito oncologico: Sono stati caratterizzati sistemi d'insonazione operanti nel range di frequenza 1 MHz – 3 MHz basati su trasduttori ad onda piana e HIFU. Tali sistemi verranno utilizzati nella sperimentazione *in vitro* ed *in vivo*, svolta in collaborazione con istituzioni attive nella ricerca contro il cancro (Ospedale San Raffaele).

Ambito neurologico: Utilizzando apparecchiature progettate e caratterizzate presso il laboratorio US sono stati effettuati test *in vitro* e *in vivo*, in collaborazione con il reparto di neurochirurgia della Fondazione IRCCS Istituto Neurologico Carlo Besta, allo scopo di verificare l'efficacia di campi ultrasonori, sia a onda piana che HIFU, sfruttando i gli effetti legati alla Blood-Brain Barrier, BBB, nell'ambito di patologie neurodegenerative.

Ambito SARS COVID-2: Proseguendo la collaborazione con centri clinici coinvolti nel trattamento dei pazienti affetti da SARS COVID-2, sono stati messi a punto sistemi d'insonazione LIPUS (Low Intensity Pulsed Ultrasound) al fine di trattare, in ambito clinico, tessuti fibrotici tipicamente presenti a seguito di polmoniti interstiziali.

Sono stati pertanto Realizzati e caratterizzati di sistemi d'insonazione basati su:

- Mini trasduttori (10 mm,  $f = 1.0$  MHz) montato su apposito sistema meccanico al fine di permettere la visualizzazione al microscopio, della coltura cellulare, durante l'insonazione.
- HIFU ( $f = 3.5$  MHz) per le attività di sperimentazione *in vitro* e *in vivo*, da realizzarsi presso Ospedale san Raffaele di Milano.
- Trasduttore onda piana ( $f = 0.9$  MHz e  $f = 1.5$  MHz) per l'attività di collaborazione con IRCCS Carlo Besta di Milano.

### **Misura di biomarcatori e diagnostica *in vitro***

Sono stati sviluppati metodi per la quantificazione di 1) biomarcatori molecolari/cellulari tramite la tecnica droplet digital PCR (ddPCR) e 2) indicatori di stati patologici mediante l'analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA); 3) design di sensori magnetici nano/microstrutturati.

Sono quindi state effettuate le seguenti attività: 1) Misura di biomarcatori tramite ddPCR: Nell'ambito del Bando "Innova per l'Italia", in risposta all'emergenza sanitaria COVID-19, è stato sviluppato e ottimizzato un metodo di analisi per la misura di copie del virus SARS-CoV-2. Il metodo è stato testato su materiale di riferimento e su 15 pazienti. Sono stati ottenuti ottimi risultati in termini di limite di rilevamento, riproducibilità e incertezza del metodo di diagnosi del virus SARS-CoV-2. 2) Individuazione di stati patologici tramite INAA: 2) Si è effettuata la validazione del metodo di misura di Co nei capelli, sviluppato in collaborazione con il Centro Nazionale di Informazione Tossicologica, e successivamente applicato in 30 pazienti portatori di protesi in monitoraggio presso l'Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna. 3) Sensori magnetici: Sono stati sviluppati modelli computazionali a supporto di tecniche di imaging magnetico su scala micro/nanometrica, basate su microscopia a forza magnetica (MFM) e microscopia a scansione di sonda tramite sensori Hall e microspire opportunamente geometrizzate.

### **Nanomateriali per applicazioni terapeutiche e diagnostiche**

Sono stati studiati nanomateriali per 1) applicazioni terapeutiche basate sull'ipertermia magnetica e 2) la veicolazione e il rilascio controllato di farmaci (*drug delivery*).

Sono quindi state effettuate le seguenti attività: 1) Ipertermia magnetica: è proseguita l'analisi modellistica di nanomateriali in ossidi di Fe o leghe magnetiche, analizzando l'influenza di forma, dimensioni e concentrazione sulle proprietà di ipertermia. Per la valutazione della relativa efficacia terapeutica sono stati realizzati codici di calcolo *in silico*, in grado di determinare la potenza depositata e l'incremento di temperatura indotto in modelli computazionali animali ad alta risoluzione. In collaborazione con l'Erasmus Medical Center di Rotterdam, è stato progettato un applicatore a radiofrequenza (RF), che verrà utilizzato per confrontare gli effetti generati dall'ipertermia prodotta da campi elettromagnetici RF con quelli risultanti dall'utilizzo dell'ipertermia magnetica (mediata dai nanomateriali magnetici), in test su *phantom* e *in vitro*. 2) Drug delivery: Sono state sintetizzate e caratterizzate *nanodroplet* a base di perfluorocarburi con azione antimicrobica e per il rilascio controllato di

farmaci e/o ossigeno. Insieme al DISAT (PoliTO), si sono studiate le dinamiche di attivazione mediante ultrasuoni di diversi *nanocarrier* (*nanodroplet* e nanocristalli), attraverso il monitoraggio ottico (analisi dell'emissione luminosa) ed acustico, effettuato in set-up sperimentali di microfluidica.

### **Materiali simulatori tissutali**

Sono stati sviluppati e caratterizzati phantom per l'imaging quantitativo a risonanza magnetica (MRI).

Nell'ambito del progetto EMPIR QUIERO, al fine di sviluppare tecniche di *imaging* avanzate, quali l'*MR Finger Printing* e l'*Electrical Properties Tomography*, sono stati fabbricati diversi *phantom*, omogenei ed eterogenei, per identificare le sostanze in grado di modulare i tempi di rilassamento (T1 e T2) e le proprietà elettriche. I *phantom*, realizzati utilizzando stampi innovativi a base di silicone e cryogel, sono stati caratterizzati a diversi campi (1.5 T, 3 T e 7 T) in scanner per MRI per applicazioni cliniche e precliniche, mostrando una buona Sono stati quindi prodotti *Phantom* antropomorfi con strutture *brain-like*, in cui sono riprodotte le aree di materia bianca e materia grigia ed eventuali lesioni.

### **Biomateriali per la medicina rigenerativa**

Sono stati caratterizzati sistemi biologici e biomateriali per la medicina rigenerativa tramite tecniche innovative di *imaging* basate su 1) microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF, 2) microscopia a forza atomica (AFM), 3) Transient Grating Spectroscopy (TGS), 4) Optical Coherence Tomography (OCT).

Le attività svolte nei vari ambiti sono articolate in: 1) CARS-SHG-TPEF: In collaborazione con l'Istituto Ortopedico Galeazzi sono state effettuate misure in *timelapse* su biopsie e tessuti bioingegnerizzati derivati da espunti in pazienti con osteoartrosi, per studiare la dinamica di *uptake* cellulare di nano-vescicole extracellulari con funzione antinfiammatoria e rigenerativa del tessuto cartilagineo. La profondità di penetrazione delle nano-vescicole, l'area e il volume occupati e la colocalizzazione sono stati valutati con algoritmi di analisi delle immagini sviluppati ad hoc. 2) AFM: Sono state implementate tecniche di mappatura del modulo di Young in combinazione con la micro-spettroscopia CARS, per la caratterizzazione di *scaffold* basati su materiali polimerici microstrutturati. 3) TGS: Si è effettuata la caratterizzazione micro-strutturale di matrici di gel di fibrina, correlando i parametri reticolari ottenuti tramite microscopia TPEF con i valori dei moduli elastici longitudinali misurati mediante TGS. 4) OCT: Si è progettato un sistema OCT a 1.5  $\mu$ m per misure 3D di materiali e tessuti con sistema di scansione basato su specchi galvanometrici e spettrofotometro basato su reticolo e sensore InGaAs lineare.

### **Magnetismo nei materiali allo stato solido**

Le attività sono state rivolte a vari aspetti e, in particolare a: 1) comprensione e misura dei fenomeni magnetici su scala da nano a bulk con analisi dei processi di dissipazione di energia in strutture diverse e frequenze di lavoro variabili da DC ai GHz; 2) studio degli effetti di modifiche strutturali e/o di composizione dei materiali per ottimizzarne il comportamento magnetico; 3) estensione delle capacità di misura a materiali nuovi e ai minerali naturali; 4) ottimizzazione delle proprietà magnetiche dei materiali in funzione delle loro applicazioni.

A tale scopo sono stati preparati e caratterizzati materiali magnetici su varie scale spaziali dal bulk fino alla dimensione nanometrica; è stato effettuato uno studio sperimentale e teorico del processo di magnetizzazione (fino ai MHz) scalare e vettoriale con attenzione ai fenomeni di dissipazione energetica in materiali microcristallini e Soft Magnetic Composites. E' stato sviluppato un sistema microscopico magneto-ottico a bassa risoluzione per l'osservazione di strutture magnetiche in campioni di nastri o lamierini ferromagnetici. Lo studio ha consentito di ottenere una riduzione dei fenomeni di dissipazione nei processi di produzione/trasformazione di energia elettromagnetica; di migliorare le capacità di misura delle grandezze magnetiche in un ampio spettro di condizioni e partecipazione a confronti di misura su nuovi materiali; di estendere standard e capacità di misura a frequenze di lavoro crescenti, a materiali nuovi e a nuove aree di applicazione correlate a energia, salute, ambiente e beni culturali. I risultati sono stati pubblicati su riviste internazionali.

### **Materiali innovativi per la spintronica e il nanomagnetismo**

I materiali prodotti sono: 1) nanostrutture e 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, di spin-Seebeck, e per la magneto-meccanica; 2) preparazione per via chimica o fisica di nanoparticelle magnetiche anche core-shell in vista di possibili impieghi nel campo biomedico (agenti di contrasto per

diagnostica tramite risonanza magnetica, ipertermia magnetica o somministrazione guidata di farmaci); 4) applicazione della tecnica sonochimica per l'idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica (collaborazione con ML4); 5) Crescita e caratterizzazione film sottili con magnetoresistenza anisotropica per sensoristica biomedicale; 6) preparazione di film multifunzionali compositi costituiti da materiali magnetostrittivi accoppiati meccanicamente con substrati flessibili o piezoelettrici, per lo studio dell'attuazione magnetica mediante campi elettrici; 7) studio per la realizzazione di composti magnetici di Heusler sotto forma di film sottili prodotti per sputtering ed epitassia a fascio molecolare (collaborazione con ML1). 8) sviluppo di materiali metallici amorfi, con proprietà antibatteriche per applicazioni biomediche.

L'attività ha consentito di perfezionare le competenze necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per la biomedicina, la spintronica, la sensoristica e l'industria. I risultati sono stati pubblicati su riviste internazionali.

### **Spintronica**

L'attività si è concentrata sui seguenti temi:

1) spin Seebeck/Peltier su campioni bi-layer di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt e YIG/Pt a diverse geometrie; 2) a) spin Hall magnetoresistance su campioni bi-layer di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt e YIG/Pt a diverse geometrie; b) Effetti di spin orbit torque su bilayer metalli pesanti (Pt, W) e ferromagnete (CoFeB). c) Studio dell'accoppiamento tra spin currents e campo elettrico mediante DFT; d) misure magnetooptiche e di magnetoresistenza AMR/SMR tramite Hall bar su wedge Pt/Fe<sub>60</sub>Co<sub>20</sub>B<sub>20</sub>/Ta 3) a) Ottimizzazione della misura della DMI con sistema magnetooptico e degli algoritmi correlati per la stima del valore nell'espansione di bolle magnetiche. b) round robin della misura DMI con magnetooptica e BLS e analisi dei risultati c) "literature review" sulla misura della DMI in film sottili. d) Analisi del round robin sulla DMI. e) Studio degli effetti di campo elettrico sulla interazione DMI e sull'anisotropia magnetica. (ambito progetto EMPIR TOPS); 4) a) Onde di spin in geometria sferica o cilindrica. b) Effetti di non-reciprocità nella relazione di dispersione delle onde di spin. c) Misura della dispersione di onde di spin attraverso la fase acquisita.

I risultati si possono riassumere in: 1) curve di magnetoresistenza al variare dello spessore del Pt, correlate al comportamento magnetooptico della Hall bar e valutazione della conducibilità di correnti di spin "puri" in isolanti magnetici, spin Hall angle di Pt, efficienza dello spin orbit torque in sistemi ferromagneti metallici/metalli pesanti e effetti del campo elettrico sulle correnti di spin (report) 2) a) analisi dell'influsso dei modelli per la stima del valore di DMI con il metodo dell'espansione di bolle magnetiche (report). b) round robin della misura DMI con magnetooptica e BLS e analisi dei risultati c) paper submitted in RMP sulle misure della costante di DMI di interfaccia, setup e tecniche di misura incluso modelli per valutare la costante di DMI in modo affidabile (capacità di misura), comprensione della dispersione dei dati di misura della costante di DMI (paper), comprensione degli effetti del campo elettrico sulla interazione DM (paper); 3) studio teorico e sperimentale delle onde di spin o magnetizzazione in sistemi non-planari (paper); 4) misura del coefficiente di spin Seebeck su campioni di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt in funzione della temperatura. Measurement of the heat flux normalized spin Seebeck coefficient of thin films as a function of temperature; 5) Messa a punto di una tecnica di imaging magnetico tramite effetto spin Seebeck locale.

### **Ruolo NMI**

La Divisione mantiene e sviluppa Campioni Nazionali. Nel 2020 sono risultati attivi 4 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.

L'attività del settore **Campi e sistemi elettromagnetici** si è svolta nei seguenti ambiti:

#### **Partecipazione a reti e organismi metrologici**

Consolidamento delle attività delle reti metrologiche europee (EMN) *Mathematics and Statistics* (MATHMET) e *Smart Electricity Grids* (SEG)

#### **Partecipazione a organismi metrologici e tecnici**

Supporto alla disseminazione e allo sfruttamento dei risultati dei progetti di ricerca MyRailS e IT4PQ.

Contributo ai lavori dei comitati tecnici IEC e CEN come ricaduta delle tematiche di ricerca.

### **Sviluppo, e mantenimento di campioni e CMC**

Assicurazione della riferibilità per la taratura dei misuratori di energia in sistemi di trasporto alimentati in DC; messa a punto di nuove CMC per la misure di potenza ed energia in sistemi ferroviari e miglioramento dell'incertezza dei campioni di laboratorio.

### **Disseminazione e organizzazione di confronti interlaboratorio**

*Obiettivi.* Fornire riferibilità metrologica a laboratori di taratura, misura e prova operanti nel campo delle misure elettriche ed elettromagnetiche di interesse per i sistemi di potenza.

*Attività svolta.* È proseguita l'attività di disseminazione per le grandezze campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, alte tensioni DC e AC e rapporto di forti correnti AC e per le grandezze di interesse per le misure di compatibilità elettromagnetica (EMC). E' stata aggiornata, alla luce della pubblicazione della relativa Guida Euramet, la procedura per la caratterizzazione di analizzatori vettoriali di reti costituenti i campioni di prima linea nella taratura di strumentazione EMC. E' stata sperimentata la procedura per la taratura di trasformatori di misura per reti di distribuzione MT nella gamma di frequenza da 40 Hz a 10 kHz.

*Risultati ottenuti.* Definizione di procedure di taratura di sensori MT a frequenze armoniche. Revisione di 3 procedure di taratura ed emissione di circa 150 certificati di taratura.

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 ferrovia 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** mantenimento del campione nazionale di pressione acustica. Garantisce il servizio riguardante la taratura dei campioni acustici di riferimento dei laboratori di taratura accreditati, che garantisce la disseminazione e la riferibilità metrologica per le grandezze acustiche. Il settore ha collaborato stabilmente con ACCREDIA e con gli enti di normazione nazionali, CEI. Presiede il comitato CEI CT29/87 "Acustica e Ultrasuoni", enti di normazione internazionali, IEC TC 29 "Elettroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics". Sovraintende i lavori del sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e ha coordinato i lavori del sottocomitato "Sound in Air".

Ha organizzato e svolto un ILC riguardante la taratura di filtri a bande di terzi di ottava.

Ha svolto attività nell'ambito della peer review per il laboratorio di acustica del CEM (Centro Español de Metrología), del progetto EURAMET 1123.

Il settore **Scienze e tecnologie Biomediche** ha svolto attività nei seguenti ambiti:

### **Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio**

*Attività svolta.* Stesura, come laboratorio pilota, del report finale dello studio CCQM-CAWG P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate"; realizzazione e completamento dello studio CCQM-NAWG P199b "SARS-CoV-2 RNA copy number quantification"; campagna di misure effettuata per lo studio CCQM-CAWG P217 (ex 214) "Enumeration of fixed peripheral blood mononuclear cells in suspension";

contribuito alla definizione del protocollo di misura per lo studio CCQM-CAWG P197 "Proliferative stem cell number per unit area", ove l'INRiM è uno dei laboratori pilota. Avvio, nel CCQM-NAWG, del confronto chiave sulla quantificazione del marker tumorale HER2, e degli studi pilota sulla metilazione del DNA e l'identificazione di proteine in matrici complesse; avvio, in ambito ASTM, del confronto internazionale su vitalità cellulare per arrivare allo standard WK62115 "New Test Method for Measuring Cell Viability in a Scaffold".

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

*Obiettivi.* Attività in ambito CCQM all'interno dei Working Group 1) IRWG (Isotope Ratios) e 2) CAWG, NAWG e KCWG (Key Comparisons and CMC Quality) e attività normativa in ambito ASTM.

*Attività svolta.* 1) Sviluppo, in collaborazione con il "Chemical Process and Nuclear Measurements Group" del NIST, di un metodo basato su INAA per la misura del rapporto isotopico  $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$  con incertezza relativa 0.1%. 2) Partecipazione a diversi workshop CCQM-KCWG sul nuovo Key Comparison Data Base (KCDB 2.0) e sottomissione al terzo ciclo di revisione della guida WK55364 "Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method", proposta dal sotto-comitato ASTM F04.43.

*Risultati ottenuti.* 1) Misura del rapporto  $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$  con incertezza relativa 0.1%. 2) Affinamento della guida ASTM WK55364 sulla misura della proliferazione cellulare in scaffold 3D.

#### **Attività di networking tra NMI**

*Obiettivi.* Attività nell'ambito delle reti *European Metrology Network* (EMN), all'interno di EURAMET.

I risultati si riassumono in: 1) EMN TraceLabMed: ottimizzazione, mediante una serie di workshop e meeting, della gestione dei rapporti con gli stakeholder e i laboratori impegnati in confronti che rispondono alla normativa UE 2017/746 in termini di riferibilità dei dispositivi medico-diagnostici *in vitro*. 2) EMN Mathmet: sviluppo di software per simulazioni *in silico* nel campo delle nanotecnologie applicate alle scienze della vita; attività di formazione in ambito matematico-numerico; input per la preparazione di un'agenda strategica sul tema AI.

#### **Supporto all'accreditamento**

*Obiettivi.* Supporto ad ACCREDIA nel campo dei materiali biologici di riferimento.

*Attività svolta.* Nell'ambito della convenzione con ACCREDIA, è stato seguito un corso di formazione per ispettori di biobanche, per ottemperare alla norma UNI ISO 20387, che si prefigge di assicurare la riproducibilità dei risultati ottenuti su materiali biologici e la qualità dei campioni.

*Risultati ottenuti.* Formazione di un ispettore che, in collaborazione con un team di esperti, darà supporto all'accreditamento delle biobanche, in conformità con la norma UNI ISO 20387.

Il settore **Magnetismo, Materiali e Spintronica Metrologia magnetica** ha svolto attività per il miglioramento e consolidamento della metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici. I principali ambiti in cui ha operato sono: 1) Pianificazione di round robin per le misure di perdita su Epstein e SST (progetto HEFMAG); 2) Progettazione di nuova strumentazione a controllo digitale per il laboratorio di magnetismo (banco balistico digitale e nuovo wattmetro); 3) Misura magnetica in regimi non convenzionali (alta temperatura < 200°C, alta frequenza, flusso distorto, presenza di effetto pelle, flussi bidimensionali); 5) Realizzazione di esperimenti di risonanza magnetica nucleare tramite il metodo del rilassamento spontaneo. 6) Definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle (progetto MagNaStand); 7) Partecipazione a Project Team for new standard - Technical Specification IEC/TC 113/PT 62607-9-1 "Nanomanufacturing – Key Control Characteristics – Part 9-1: Spatially resolved magnetic field measurements – Magnetic Force Microscopy" (progetto NanoMag).

#### **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 tecnologico (Knowledge Transfer)

La Divisione è impegnata nelle aree di competenza dei settori 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 e Enti di ricerca.

### Divulgazione scientifica

Sono state svolte lezioni tematiche rivolta alle scuole primarie di primo grado, secondarie di primo e secondo grado. Partecipazione alla "Notte europea dei ricercatori 2020". Ricercatori della Divisione hanno partecipato ad iniziative di formazione e diffusione della cultura scientifica.

### Trasferimento tecnologico

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

<b>Settore ML1 - Scienza e tecnologia alla nanoscala</b>
Responsabile: Natascia De Leo

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Giampiero Amato	7	1		3		11
Angelo Angelini	9			2		11
Luca Boarino	6	1	1	2	1	11
Natascia De Leo	6	1		1	3	11
Federico Ferrarese Lupi	10			1		11
Matteo Fretto	10	1				11
Gianluca Milano	10			1		11
Eugenio Monticone	11					11
Lorenzo Pattelli	10			1		11
Roberto Rocci	11					11
Angelo Sardi	2			3		5
<b>Personale TD</b>						
Sara Nocentini	11					11
<i>Tot</i>	<b>103</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>126</b>
<b>Assegni di ricerca</b>						
Eleonora Cara	10			1		11
<b>Personale in formazione</b>						
Marwan Channab	11					11
Giuseppe Leonetti (PhD)	11					11
Irdi Murataj (PhD)	11					11
<b>Personale associato</b>						
Michele Laus	1					1
Nicola Pinto	1					1
Javad Rezvani	0,5					0,5
<i>Tot</i>	<b>45,5</b>			<b>1</b>		<b>46,5</b>
<b>Totale</b>	<b>148,5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>172,5</b>

### ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

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

*Obiettivi.* Sviluppo di sistemi 3D a bassa dimensionalità per la realizzazione di campioni alla nanoscala.

*Attività svolta.* Sono stati sviluppati i processi di directed self-assembly tramite l'accoppiamento di tecniche litografiche convenzionali e materiali auto-assemblanti per la realizzazione di campioni di lunghezza laterale alla nanoscala. Sono anche stati studiati sistemi molecolari modello allo scopo di ottenere una tracciabilità della misura dell'enhancement factor del segnale Raman.

*Risultati ottenuti.* I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

#### **Materiali funzionali e metamateriali**

*Obiettivi.* Realizzazione di metamateriali iperbolici per l'aumento delle proprietà emissive di sorgenti di singolo fotone.

*Attività svolta.* Sono stati simulati, realizzati e misurati otticamente campioni di metamateriali metallo/dielettrici in due configurazioni (multi-layer e in-plane). Le simulazioni sono state eseguite con metodi di approssimazione di mezzo efficace e metodo ad elementi finiti.

*Risultati ottenuti.* I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

### **Analisi ottica di materiali porosi**

*Obiettivi.* Design, modellizzazione e caratterizzazione ottica di materiali porosi micro e nano-strutturati.

*Attività svolta.* Modellizzazione ottica e analisi dati sperimentali per la fabbricazione e caratterizzazione di un aerogel di polietilene ad alta porosità che combini un'alta efficienza di scattering nel range UV/VIS/NIR con un'alta trasmissività alle lunghezze d'onda tipiche della finestra infrarossa di trasparenza atmosferica.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazione su rivista ad alto IF. Collaborazione per il rilascio della versione 1.1.0 del software di simulazione: Smuthi.

### **Fotonica tunabile in polimero**

*Obiettivi.* Design, fabbricazione e caratterizzazione di strutture fotoniche tunabili tramite polimeri responsivi.

*Attività svolta.* È stata studiata e dimostrata la possibilità di controllare la risposta ottica di una struttura fotonica, quale il colore strutturale di un'ala di farfalla (*Morpho Menelaus*), tramite l'integrazione di cristalli liquidi elastomerici responsivi a variazioni di temperatura. È stata realizzata una struttura multistrato responsiva la cui risposta ottica mostra un blue shift della riflessione per temperature crescenti.

*Risultati ottenuti.* I risultati ottenuti sono stati pubblicati su rivista.

### **Materiali polimerici disordinati e riconfigurabili per crittografia classica**

*Obiettivi.* Studio, realizzazione e caratterizzazione di sistemi disordinati polimerici riconfigurabili quali i cristalli liquidi stabilizzati dispersi in polimero per funzioni fisiche non-clonabili (Physical Unclonable Functions, PUFs).

*Attività svolta.* Sono state fabbricate e caratterizzate due tipologie di funzioni fisiche non clonabili: PUF riconfigurabili e PUF-multi-livello, basate su cristalli liquidi dispersi in polimero. Tramite una caratterizzazione ottica del sistema è stato dimostrato come è possibile codificare più informazione in sistemi PUF multi livello rispetto a PUF riconfigurabili.

*Risultati ottenuti.* I risultati ottenuti saranno riportati in un articolo (in fase di preparazione).

### **Dispositivi superconduttivi**

*Obiettivi.* Realizzazione di nanostrutture superconduttive mediante litografia a fascio elettronico per lo studio di fenomeni quantistici interessanti per la metrologia e le tecnologie quantistiche.

*Attività svolta.* È stato ottimizzato il processo di litografia a fascio elettronico per la realizzazione di array di nanostrisce in film sottile di niobio, nell'intervallo da 80 a 50 nm di larghezza.

*Risultati ottenuti.* Le nanostrutture realizzate sono state caratterizzate in temperatura al fine di investigare il comportamento superconduttivo e gli effetti che derivano in strutture confinate.

*Obiettivi.* Realizzazione di strutture in Nb/NbO<sub>x</sub>/Au per uno studio preliminare del comportamento di resistive switching.

*Attività svolta.* È stato ottimizzato il processo di deposizione di un multilayer di Nb/NbO<sub>x</sub>/Au mediante DC sputtering in ultra alto vuoto e sono state caratterizzate le prime nanostrutture realizzate.

*Risultati ottenuti.* Dalla caratterizzazione elettrica preliminare è stato osservato un fenomeno di switching ripetibile e riproducibile dell'ossido di niobio, inoltre il trilayer mostra un'ottima resistenza a cicli di set e reset.

*Obiettivi.* Nanobolometri, nanoTES.

*Attività svolta.* Mediante EBL e deposizione di Ti/Au in UHV sono stati fabbricati nanowire con dimensioni variabili tra 100 e 300 nm per applicazione al conteggio di singoli fotoni sotto il THz. Lo spessore dei film è stato ottimizzato per ridurre la temperatura critica sotto 100 mK, valore necessario per ottenere una risoluzione energetica adeguata.

*Risultati ottenuti.* La caratterizzazione a bassa temperatura mostra una larga influenza dell'effetto prossimità, dovuto agli elettrodi, sulla transizione superconduttiva.

### **Caratterizzazione elettrica di nanostrutture**

*Obiettivi.* Realizzazione di dispositivi elettronici alla nanoscala.

*Attività svolta.* Sono state investigate le proprietà di conduzione elettronica e le proprietà memresistive di nanofili e reti di nanofili per la realizzazione di dispositivi elettronici per l'emulazione di funzionalità sinaptiche e per l'implementazione di computing neuromorfo.

*Risultati ottenuti.* I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

### **Crescita di cristalli**

*Obiettivi.* Crescita di composti di Heusler con elevato ordine cristallino.

*Attività svolta.* A causa della pandemia e delle difficoltà di accesso al laboratorio, l'attività si è limitata alla riparazione di alcune parti del sistema MBE.

*Risultati ottenuti.* Ripristino delle condizioni di ultra alto vuoto in origine.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

*Obiettivi.* VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials Standardisation) Steering Committee 45, attività pre normative sui materiali avanzati.

*Attività svolta.* Tra le attività svolte da INRiM nel 2020 è da citare l'organizzazione della 1<sup>st</sup> Winter School on *Advanced Materials, Metrology and Standardisation*. Lo Steering Committee 45 si è tenuto in modalità virtuale a causa della pandemia.

*Risultati ottenuti.* Oltre al successo della Winter School 2020, lo Steering Committee 45 ha accettato con votazione unanime la candidatura INRiM ad ospitare lo Steering Committee 47 nel giugno 2022.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Didattica Universitaria**

*Obiettivi.* Corsi di docenza presso il Politecnico di Torino e l'Università del Piemonte Orientale.

*Attività svolta.* Corso di: Fisica I, Nanotecnologie e Fisica dello Stato Solido.

*Risultati ottenuti.* Le lezioni si sono svolte in modalità remota. Sono stati inoltre utilizzati strumenti didattici a distanza che hanno permesso di rendere disponibili le lezioni teoriche e pratiche su un canale YouTube.

### **Divulgazione on-line**

*Obiettivi.* Seminario nell'ambito della Notte dei Ricercatori - BRIGHT-NIGHT 2020, Sosteniamo il pianeta.

*Attività svolta.* Presentazione svolta in modalità telematica.

*Risultati ottenuti.* Comunicazione ad un pubblico non addetto ai lavori delle attività di ricerca nel campo dei materiali per raffreddamento passivo radiativo diurno.

### **Seminario**

*Obiettivi.* Seminari tenuti nell'ambito della Scuola It-Fab "School on nanotechnologies: processes and applications to sensors and actuators" e presso il Center for Life Nano science @Sapienza, Istituto Italiano di Tecnologia.

*Attività svolta.* Seminari svolti in modalità sia telematica che in presenza, con il consolidamento della posizione INRiM all'interno di It-Fab e della collaborazione tra INRiM e CLNS-IIT.

### **Organizzazione di eventi**

*Obiettivi.* 1<sup>st</sup> Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standardisation, 2-7 Febbraio 2020, Claviere (To) Italy.

*Attività svolta.* La scuola è stata organizzata grazie al patrocinio della divisione di Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita dell'INRiM e del VAMAS, ed è stata seguita da 50 tra relatori e allievi provenienti da NMI e centri di ricerca di tutta Europa. <https://www.inrim.it/evento/1st-winter-school-advanced-materials-metrology-and-standardisation>

*Obiettivi.* Co-organizzazione della conferenza NanoInnovation 2020.

*Attività svolta.* Co-organizzazione della Scuola It-Fab "School on nanotechnologies: processes and applications to sensors and actuators", con il consolidamento della posizione INRiM all'interno di It-Fab, creazione di un network nazionale sulla micro e nanofabbricazione.

<b>Settore ML2 - Campi e sistemi elettromagnetici</b>
Responsabile: Gabriella Crotti

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Oriano Bottauscio	8	1	1	1		11
Gabriella Crotti	5	3	1	0,5	1,5	11
Domenico Giordano	7,5	2	1	0,5		11
Luca Zilberti	10		0,5	0,5		11
Mauro Zucca	9	1	0,5	0,5		11
Andrea Agosto(*)	2	7				9
Federico Fissore	4	7				11
Valter Giusio	1	10				11
Giorgio Varetto	4	7				11
Giuseppe Vizio	1	10				11
<b>Personale TD</b>						
Alessandro Arduino	2,75					2,75
<i>Tot</i>	<b>54,25</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1,5</b>	<b>110,75</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Alessandro Arduino	8,25					8,25
Umberto Zanovello	10	1				11
<b>Personale in formazione</b>						
Palma Sara Letizia (PhD)	9	2				11
Davide Signorino (PhD)	9	2				11
<b>Personale associato</b>						
Michele Borsero		1,5				1,5
Mario Chiampi	1,5					1,5
Umberto Pogliano	1,5					1,5
<i>Tot</i>	<b>39,25</b>	<b>6,5</b>				<b>45,75</b>
<b>Totale</b>	<b>93,5</b>	<b>54,5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1,5</b>	<b>156,5</b>

(\*) 2 PM Sistema Gestione Qualità

## ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

### Tomografia MR quantitativa

**Obiettivi.** Sviluppo e caratterizzazione di algoritmi per tomografia delle proprietà elettriche (*Electric Properties Tomography* - EPT) basata su risonanza magnetica (MR).

**Attività svolta.** Nell'ambito del progetto Quiero, è stata implementata la libreria *EPTlib*, in linguaggio C++, contenente algoritmi per la tomografia delle proprietà elettriche a partire da mappature di campo magnetico a radiofrequenza, acquisite nel corso di un esame MR. La libreria, condivisa in forma *open source*, è stata utilizzata per sviluppare una valutazione dell'incertezza associata alla ripetibilità di ricostruzioni EPT.

**Risultati ottenuti.** Disponibilità di una libreria di algoritmi per EPT e dataset di caratterizzazione di ripetibilità.

### Sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici

**Obiettivi.** Sviluppo di strumenti computazionali e sperimentali per l'indagine dosimetrica di pazienti sottoposti a tecnologie diagnostiche e/o terapeutiche basate su campi elettromagnetici (MRI, ipertermia magnetica).

**Attività svolta.** Sulla tematica **MRI-Safety** si sono sviluppati modelli per l'analisi del riscaldamento di protesi ortopediche metalliche soggette all'azione di campi elettromagnetici (CEM) a radiofrequenza e di gradiente in tomografi a 1.5 T e 3 T. E' stato sviluppato, con l'Istituto Ortopedico Rizzoli, un *tool* per l'analisi del rischio di esposizione di pazienti con protesi ortopediche, a supporto della definizione di protocolli di *imaging*. E' stato completato il laboratorio per la riproduzione di campi magnetici di gradiente generati da tomografi MRI (progetto MIMAS). In collaborazione con l'Istituto IMDEA (Madrid) e l'Università di Cadice si sono analizzate situazioni di pazienti con protesi metalliche, soggetti a **ipertermia magnetica** per il trattamento di tumori. Lo

studio ha permesso di valutare regole di esclusione nei trial clinici per le classi di pazienti interessati.

*Risultati ottenuti.* Sul tema *MRI-safety* pubblicazione di una *Review* sul *Journal of Magnetic Resonance in Medicine* e di un articolo su *Magnetic Resonance in Medicine*. Sottomissione di una pubblicazione al *Journal of Magnetic Resonance in Medicine* riguardante i tool di analisi e alcune valutazioni su situazioni reali di esposizione. Sottomissione all'*International Journal of Hyperthermia* dello studio sull'ipertermia magnetica.

### **Trasferimento wireless di potenza (WPT) per la ricarica di veicoli elettrici**

*Obiettivi.* Stima dell'incertezza nelle misure di efficienza e potenza in stazioni di ricarica WPT. Stima della prestazione dei sistemi di misura installati presso le stazioni. Misura di induzione magnetica e correnti alle bobine durante la ricarica WPT dinamica. Valutazione dosimetrica dell'esposizione ai campi elettromagnetici.

*Attività svolta.* E' stata effettuata un'analisi di **incertezza delle misure on-site**, tenuto conto delle condizioni operative, quali temperatura e distorsione armonica. Le misure, eseguite in 2 stazioni di ricarica con la *Power Measurement Unit* (PwMU) sviluppata nell'ambito del progetto MICEV, hanno permesso **l'analisi comparativa** dei sistemi di misura installati presso le stesse. Mediante un modello di stazione di ricarica per la ricostruzione dei CEM generati, si è valutata la conformità dell'esposizione umana alle prescrizioni normative. Grazie a un sistema per la simulazione del processo di **ricarica dinamica** installato presso il Politecnico di Torino, si è condotta un'analisi dei segnali di corrente e induzione magnetica durante il movimento della bobina ricevente.

*Risultati ottenuti.* Il confronto tra PwMU e sistemi installati ha confermato la fattibilità di tarature on-site di misuratori in classe 0.5. La descrizione della PwMU e la metodologia per la stima dell'incertezza sono state rispettivamente pubblicate su IEEE TIM e accettate su *Sustainability*. Metodologia e risultati dell'analisi dosimetrica sono stati pubblicati rispettivamente su IEEE EMC e *Sustainability*.

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

*Obiettivi.* Miglioramento dell'efficienza energetica nei sistemi ferroviari e metropolitani mediante sviluppo di metodi di misura, tecniche di analisi e modelli circuitali per l'implementazione di una "smart grid" ferroviaria.

*Attività svolta.* In relazione ai fenomeni di PQ in reti DC, due sistemi per la registrazione sincronizzata e lo *storage* di grandezze elettriche sono stati installati in una sottostazione elettrica e a bordo di un locomotore. I dati registrati in servizio ordinario sono stati analizzati evidenziando i **disturbi di PQ**. E' stata inoltre effettuata l'analisi dei dati registrati in campagne di misura a bordo locomotore in reti ferroviarie e metropolitane, in relazione ai fenomeni di PQ e alla **stima della potenza dissipata** dai reostati di frenatura.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazione di un articolo su IEEE TIM, sul rilievo dei fenomeni di PQ in DC, e su *Sensors*, sulla stima della potenza dissipata dai reostati di frenatura.

### **Sistemi elettrici di potenza**

*Obiettivi.* Caratterizzazione di sensori di tensione e corrente per misure di potenza ed energia in sottostazioni digitali e di sistemi per il monitoraggio della PQ. Studio modellistico sperimentale di *harvester* magnetostrittivi. Valutazione dell'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici nei lavori sotto-tensione.

*Attività svolta.* Si è messo a punto un sistema modulare per la generazione e misura di tensioni sinusoidali e distorte, estendendone le capacità all'analisi del comportamento di **sensori con uscita digitale**. E' iniziato lo studio sulla caratterizzazione di sistemi di conversione A/D, utilizzati per la sincronizzazione di segnali in uscita dai trasduttori installati in sottostazioni elettriche. Prestazioni dei **dispositivi magnetostrittivi per l'energy harvesting** sono state valutate per confronto con un modello termodinamico. In collaborazione con CESI e Terna è stato svolto uno **studio dosimetrico** sull'esposizione di lavoratori al campo magnetico prodotto da linee di trasporto dell'energia e apparecchiature in sottostazioni elettriche durante lavori a sistema energizzato.

*Risultati ottenuti.* Lo studio modellistico-sperimentale di *harvesters* magnetostrittivi è stato pubblicato su JMMM. I risultati dell'attività in collaborazione con CESI, sono stati pubblicati sull'*International Journal of Environmental Research and Public Health*.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Partecipazione a reti e organismi metrologici**

*Obiettivi.* Consolidamento delle attività delle reti metrologiche europee (EMN) *Mathematics and Statistics* (MATHMET) e *Smart Electricity Grids* (SEG)

*Attività svolta.* Con riferimento alla EMN SEG sono stati forniti dall'INRiM i dati di input sulle attività di servizio degli NMI aderenti ed è stato fatto circolare un questionario per la raccolta di materiale per la formazione.

*Risultati ottenuti.* Censimento delle attività di formazione della rete EMN SEG.

### **Partecipazione a organismi metrologici e tecnici**

*Obiettivi.* Supporto alla disseminazione e allo sfruttamento dei risultati dei progetti di ricerca MyRailS e IT4PQ. Contributo ai lavori dei comitati tecnici IEC e CEN come ricaduta delle tematiche di ricerca.

*Attività svolta.* Partecipazione alle riunioni del CEI CT 9 e dell'IEC TC 9 WG *Maintenance team* MT62888 per la riedizione della norma IEC 62888. Partecipazione ai meeting del CEN-CLC TC 38, dell'IEC TC 38 WG47 e del CIGRÉ WG A3.45 sul comportamento in frequenza dei trasformatori di misura.

*Risultati ottenuti.* Discussione della modifica proposta all'Annex C dell'IEC 62888 "Misura dell'energia a bordo treno". Presentazione della rete EMN SEG-NET al CEN-CLC TC 38 e del progetto IT4PQ all'IEC TC 38 CAG.

### **Sviluppo e mantenimento di campioni e CMC**

*Obiettivi.* Assicurazione della riferibilità per la taratura dei misuratori di energia in sistemi di trasporto alimentati in DC; messa a punto di nuove CMC e miglioramento dell'incertezza dei campioni di laboratorio.

*Attività svolta.* In relazione ai sistemi di riferimento sviluppati nel progetto MyRails, è stata sperimentata una metodologia per la taratura della catena di misura di potenza ed energia per applicazioni ferroviarie. E' stata inoltre messa a punto una metodologia per la compensazione dell'errore di risoluzione di generatori di differenza di fase campione, basata sull'utilizzo di un comparatore di digitale.

*Risultati ottenuti.* Definizione di una CMC per la misure di potenza ed energia in sistemi ferroviari.

### **Disseminazione e organizzazione di confronti interlaboratorio**

*Obiettivi.* Fornire riferibilità metrologica a laboratori di taratura, misura e prova operanti nel campo delle misure elettriche ed elettromagnetiche di interesse per i sistemi di potenza.

*Attività svolta.* È proseguita l'attività di disseminazione per le grandezze campi elettrici, magnetici ed EM, alte tensioni DC e AC, rapporto di forti correnti AC e per le grandezze di interesse per la compatibilità elettromagnetica (EMC). E' stata aggiornata la procedura per la caratterizzazione di VNA costituenti i campioni di prima linea nella taratura di strumentazione EMC. E' stata sperimentata la procedura di taratura di trasformatori di misura per reti di distribuzione MT nella gamma di frequenza da 40 Hz a 10 kHz.

*Risultati ottenuti.* Definizione di procedure di taratura di sensori MT a frequenze armoniche. Revisione di 3 procedure di taratura ed emissione di circa 150 certificati di taratura.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Open data, brevetti e contratti industriali**

*Obiettivi.* Condivisione dei risultati ottenuti nell'ambito dei progetti in corso. Supporto ad aziende operanti nel campo dei dispositivi mecatronici e dei sistemi di conversione dei segnali in sottostazioni digitali.

*Attività svolta.* Sono stati predisposti in forma *open source* algoritmi per l'EPT MRI (Progetto Quiero), e un tool per l'analisi del rischio di esposizione di pazienti portatori di protesi ortopediche a supporto della definizione di protocolli di imaging (Progetto MIMAS). E' stato creato un *dataset* di eventi di arco elettrico riscontrati in campo (Progetto Myrails). Nell'ambito di una consulenza industriale, è stata identificata la geometria ottimale di elettromagneti per il riscontro tattile dell'attuazione di comandi *touch screen* nell'abitacolo di un veicolo. Si è approntata la relazione relativa a un brevetto per il *detecting* degli eventi di distacco pantografo-linea nei sistemi ferroviari in DC. E' iniziato lo studio di metodologie per la taratura di *Stand Alone Merging Unit*, nell'ambito di un contratto di ricerca con RSE S.p.A.

*Risultati ottenuti.* Integrazione delle soluzioni proposte nel processo produttivo. Deposito del brevetto industriale sui metodi per la rivelazione di archi elettrici tra linea aerea ferroviaria e pantografo. Messa a disposizione di algoritmi per EPT (Github), di un *tool* semplificato per l'analisi del rischio di esposizione di pazienti portatori di protesi ortopediche (Zenodo) e di un *dataset* di archi elettrici al pantografo (Data in Brief).

### **Didattica universitaria e formazione**

*Obiettivi.* Promuovere la formazione sui temi di competenza del settore.

*Attività svolta e Risultati ottenuti.* Svolgimento del corso di III livello "Mathematical-Physical aspects of Electromagnetism" per la Scuola di Dottorato del Politecnico di Torino (15 ore, 15 studenti) e di una lezione (4 ore) su "Electromagnetic dosimetry in MRI" all'interno del corso "MR avanzata" per gli specializzandi in fisica medica dell'Università di Torino. Tutoraggio di 2 dottorati in Metrologia su: i) sistemi per misure di qualità della potenza in ambiente ferroviario, ii) sistemi di riferimento per la verifica a larga banda di trasformatori di misura.

### **Organizzazione di eventi e divulgazione**

*Obiettivi.* Promuovere la cultura scientifica

*Attività svolta e Risultati ottenuti.* Registrazione e diffusione del video "Come sfere in rapida espansione - Breve storia di James Clerk Maxwell" (<https://youtu.be/quyzojyBPOU>), che ha ottenuto circa 1000 visualizzazioni (YouTube e facebook).

<b>Settore ML3 - Acustica e Ultrasuoni</b>
Responsabile: Giovanni Durando

#### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Antonio Agostino		9				9
Mario Corallo		7			4(*)	11
Giovanni Durando	6	2	1	1	1(**)	11
Ezio Dragone (fino al 31/03)		3 (***)				3
Claudio Guglielmone	4	2				6
<b>Personale TD</b>						
Fabio Saba	2	4				6
<i>Tot</i>	12	27	1	1	5	46
<b>Personale in formazione</b>						
Ricardo Morales	3	2				5
<i>Tot</i>	3	2				5
<b>Totale</b>	<b>15</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>51</b>

(\*) ASPP, (\*\*) Referente ML3 (\*\*\*) dal 01/04 Direzione Scientifica

### ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

#### **Acustica in Aria**

**Obiettivi.** Sviluppo di tecniche di misura relative alla taratura di microfoni campioni in campo libero (camera anecoica) e di sistemi e metodi di misura per all'analisi dei parametri acustici relativi a trasduttori acustici di nuova generazione.

**Attività svolta.** Progettazione di un sistema di misura, basato sulla tecnica della reciprocità, per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici basati su microsistemi elettromeccanici. Il set-up di misura è tale da assicurare una verifica puntuale delle caratteristiche di tali dispositivi nella gamma di frequenze 100 Hz - 10 kHz. Grazie alla realizzazione di un adattatore che consente l'accoppiamento meccanico con l'attuale sistema di calibrazione per i microfoni di tipo LS2, si sfrutteranno gli strumenti e i SW utilizzati per la calibrazione dei microfoni a condensatore.

**Risultati ottenuti.** Realizzazione di una camera anecoica di dimensioni ridotte per la taratura di microfoni campione in campo libero (attività tuttora in corso).

Selezione di alcuni tipi di microfoni (MEMS) e componenti accessori per l'inizio della fase sperimentale di caratterizzazione metrologica; progettazione preliminare di componenti meccanici necessari alla realizzazione del sistema di misura.

#### **Ultrasuoni**

**Obiettivi.**

**Ambito farmacologico:** prosegue in collaborazione con il dipartimento di Scienza & Tecnologia del Farmaco dell'Università di Torino l'attività rivolta alla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttori ad onda piana e HIFU per il rilascio controllato di farmaci

**Ambito oncologico:** sono stati caratterizzati sistemi d'insonazione operanti nel range di frequenza 1 MHz – 3 MHz basati su trasduttori ad onda piana e HIFU. Tali sistemi verranno utilizzati nella sperimentazione in vitro ed in vivo, svolta in collaborazione con istituzioni attive nella ricerca contro il cancro (unità di Fisica Sanitaria dell'Ospedale San Raffaele).

**Ambito neurologico:** utilizzando apparecchiature progettate e caratterizzate presso il laboratorio US sono stati effettuati test *in vitro* e *in vivo*, in collaborazione con il reparto di neurochirurgia della Fondazione IRCCS Istituto Neurologico Carlo Besta, allo scopo di verificare l'efficacia di campi ultrasonori, sia a onda piana che HIFU, sfruttando i gli effetti legati alla Blood-Brain Barrier, BBB, nell'ambito di patologie neurodegenerative

**Ambito SARS COVID-2:** proseguendo la collaborazione con centri clinici coinvolti nel trattamento dei pazienti affetti da SARS COVID-2, sono stati messi a punto sistemi d'insonazione LIPUS (Low Intensity Pulsed Ultrasound) al fine di trattare, in ambito clinico, tessuti fibrotici tipicamente presenti a seguito di polmoniti interstiziali.

*Attività svolta.* Realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su:

- Mini trasduttori (10 mm,  $f = 1.0$  MHz) montato su apposito sistema meccanico al fine di permettere la visualizzazione al microscopio, della coltura cellulare, durante l'insonazione.
- HIFU ( $f = 3.5$  MHz) per le attività di sperimentazione *in vitro* e *in vivo*, da realizzarsi presso Ospedale san Raffaele di Milano.
- Trasduttore onda piana ( $f = 0.9$  MHz e  $f = 1.5$  MHz) per l'attività di collaborazione con IRCCS Carlo Besta di Milano.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni su riviste ad alto impatto, coordinamento progetto di ricerca internazionale, presentazione di progetto di ricerca in ambito nazionale

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

*Obiettivi.* L'attività di mantenimento del campione nazionale di pressione acustica ed il proseguimento del servizio riguardante la taratura dei campioni acustici di riferimento dei laboratori di taratura accreditati, che garantisce la disseminazione e la riferibilità metrologica per le grandezze acustiche è fondamentale. Risulta, inoltre, importante garantire l'offerta, l'organizzazione e la valutazione tecnico-scientifica di confronti di misura interlaboratorio (ILC) in ambito acustico, a supporto dei laboratori di taratura accreditati o in fase di accreditamento. Il settore, essendo l'unico laboratorio riconosciuto a livello internazionale in ambito MRA, ritiene importante proseguire l'attività di taratura di sorgenti sonore di riferimento in campo libero (camera anecoica). Il settore ha collaborato stabilmente con ACCREDIA 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.

Il personale ha collaborato 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 ha coordinato i lavori del sottocomitato "Sound in Air".

*Attività svolta.* Trasferimento della riferibilità metrologica a 12 laboratori accreditati (tarature di microfoni campione di laboratorio e di lavoro, pistonofoni e calibratori acustici) ed organizzazione e svolgimento di un ILC riguardante la taratura di filtri a bande di terzi di ottava.

Svolgimento della peer review per il laboratorio di acustica del CEM (Centro Español de Metrología), nell'ambito del progetto EURAMET 1123.

Al fine di aumentare la platea dei potenziali interessati ai lavori normativi del comitato CEI CT 29/87 "Elettroacustica e Ultrasuoni" è stata organizzata un workshop rivolto ad aziende che operano, a vario titolo, nell'ambito delle misurazioni acustiche.

*Risultati ottenuti.*

Coordinamento proposta EURAMET EMPIR 18HLT06-RaChy "Radiotherapy coupled with Hyperthermia" nel periodo 2019-2022.

Referaggio norme IEC e CEI in ambito acustico e ultrasonoro.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

*Obiettivi.* Tra le finalità del progetto RaChy si segnala lo sviluppo di metodi di termometria, basati su US, per misure di temperatura che vanno da  $37^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , *in vitro* e *in vivo*.

*Attività svolta.* Sviluppo di nuove metodologie sia sperimentali che teoriche nel campo degli ultrasuoni in ambito biomedico, al fine di massimizzare l'efficacia dei trattamenti legati all'ipertermia strettamente connessi alla definizione dei profili di temperatura spaziale e temporale.

Tra le finalità del progetto RaChy si segnala lo sviluppo di metodi di termometria, basati su US, per misure di temperatura da  $37^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , *in vitro* e *in vivo*. La dipendenza dalla temperatura delle proprietà acustiche potrà essere sfruttata, mediante appositi algoritmi, al fine di consentire la determinazione dell'innalzamento di temperatura negli strati di tessuto non superficiale anche in presenza di movimento o deformazione del tessuto, causato da cicli respiratori.

*Risultati ottenuti.* In collaborazione con NPL sono state sviluppate tecniche tali da consentire la predizione della deposizione di energia e dei profili di temperatura all'interno di colture biologiche durante i cicli d'ipertermia mediati da ultrasuoni.

<b>Settore ML4 – Scienze e tecnologie biomediche</b>
Responsabile: Alessandra Manzin

#### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Giancarlo D'Agostino	5	5		1		11
Carla Divieto	4	5,5		1,5		11
Andrea Lapini	10	0,5		0,5		11
Alessandra Manzin	7	0,5		1,5	2	11
Daniele Martella <sup>(1)</sup>	2,5			0,5		3
Leonardo Mortati	10	0,5		0,5		11
Mattia Pegoraro	5	6				11
Laura Revel	4	7				11
Adriano Troia	8	0,5	1	1,5		11
Massimo Zucco <sup>(2)</sup>	5	2	2	1		10
<i>Tot</i>	<b>60,5</b>	<b>27,5</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>101</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Marco Di Luzio	5	5		1		11
Riccardo Ferrero	10	0,5		0,5		11
<b>Personale in formazione</b>						
Simone Galati (PhD)	9					9
Camilla Paoletti (PhD)	9					9
Marta Vassallo (PhD)	9					9
Marta Vicentini (PhD)	9					9
<b>Personale associato</b>						
Paolo Foggi	1					1
Massimo Oddone	1					1
Renato Torre	1					1
<i>Tot</i>	<b>54</b>	<b>5,5</b>		<b>1,5</b>		<b>61</b>
<b>Totale</b>	<b>114,5</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>9,5</b>	<b>2</b>	<b>162</b>

1) Presa di servizio nel mese di ottobre

2) Collaborazione con SSO AE2 (1 mese)

#### **ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

##### **Misura di biomarcatori e diagnostica *in vitro***

**Obiettivi.** Sviluppo di metodi per la quantificazione di 1) biomarcatori molecolari/cellulari tramite droplet digital PCR (ddPCR) e 2) indicatori di stati patologici mediante l'analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA); 3) design di sensori magnetici nano/microstrutturati.

**Attività svolta.** 1) **ddPCR:** nell'ambito del Bando "Innova per l'Italia", in risposta all'emergenza sanitaria COVID-19, si è sviluppato e testato, su materiale di riferimento e 15 pazienti, un metodo di analisi per la misura di copie del virus SARS-CoV-2. 2) **INAA:** con il Centro Nazionale di Informazione Tossicologica si è validato il metodo di misura di Co nei capelli, e lo si è applicato in pazienti con protesi dell'Istituto Ortopedico Rizzoli. 3) **Sensori magnetici:** sono stati sviluppati modelli computazionali a supporto di tecniche di *imaging* magnetico su scala nanometrica, basate su microscopia a forza magnetica (MFM) e microscopia a scansione di sonda.

**Risultati ottenuti.** 1) Ottimi risultati in termini di limite di rilevamento, riproducibilità e incertezza del metodo di diagnosi del virus SARS-CoV-2. 2) Compatibilità tra i valori di Co misurati nel materiale di riferimento *Human Hair* e nei capelli di 30 pazienti. 3) Sviluppo di una tecnica di *imaging* MFM quantitativo per la caratterizzazione di materiali magnetici per applicazioni in vari settori, tra cui quello biomedicale.

##### **Nanomateriali per applicazioni terapeutiche e diagnostiche**

**Obiettivi.** Studio di nanomateriali per 1) applicazioni terapeutiche basate sull'ipertermia magnetica e 2) la veicolazione e il rilascio controllato di farmaci.

**Attività svolta.** 1) Ipertermia magnetica: nel progetto EMPIR RaChy si è proseguita l'analisi modellistica di nanomateriali in ossidi di Fe o leghe magnetiche, analizzando l'influenza di forma e dimensioni sulle proprietà di ipertermia. Per valutare l'efficacia terapeutica sono stati realizzati codici di calcolo *in silico*, in grado di determinare l'incremento di temperatura indotto in modelli computazionali animali ad alta risoluzione. In collaborazione con l'Erasmus Medical Center, è stato progettato un applicatore a radiofrequenza (RF), che verrà utilizzato per confrontare gli effetti generati dall'ipertermia prodotta da campi elettromagnetici RF con quelli risultanti dall'utilizzo dell'ipertermia magnetica, in test su *phantom* e *in vitro*. 2) Drug delivery: sono state sintetizzate e caratterizzate *nanodroplet* a base di perfluorocarburi per il rilascio controllato di farmaci e ossigeno. Insieme al DISAT (PoliTO), si sono studiate le dinamiche di attivazione mediante ultrasuoni di *nanodroplet* e nanocristalli, attraverso il monitoraggio ottico ed acustico effettuato in set-up di microfluidica. **Risultati ottenuti.** 1) Ottimizzazione di nanomateriali in NiFe e FeO per ipertermia magnetica e valutazione del riscaldamento indotto attraverso simulazioni in modelli murini. 2) Set-up sperimentale di microfluidica per il monitoraggio *in vitro* dei segnali acustici ed ottici emessi da *nanodroplet* e nanocristalli attivati da ultrasuoni.

### **Materiali simulatori tissutali**

**Obiettivi.** Sviluppo e caratterizzazione di *phantom* per l'*imaging* quantitativo a risonanza magnetica (MRI).

**Attività svolta.** Nel progetto EMPIR QUIERO sono stati fabbricati *phantom* omogenei ed eterogenei per identificare i fattori in grado di influenzare i tempi di rilassamento (T1 e T2) e le proprietà elettriche. I *phantom*, realizzati con stampi innovativi a base di silicone e cryogel, sono stati caratterizzati a diversi campi (1.5 T, 3 T e 7 T) in scanner MRI per applicazioni cliniche e precliniche, mostrando una buona stabilità temporale.

**Risultati ottenuti.** *Phantom* antropomorfi con strutture *brain-like*, riproducibili aree di materia bianca e grigia.

### **Biomateriali per la medicina rigenerativa**

**Obiettivi.** Caratterizzazione di sistemi biologici e biomateriali per la medicina rigenerativa tramite tecniche innovative di *imaging* basate su 1) microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF, 2) microscopia a forza atomica (AFM), 3) Transient Grating Spectroscopy (TGS), 4) Optical Coherence Tomography (OCT).

**Attività svolta.** 1) CARS-SHG-TPEF: con l'Istituto Ortopedico Galeazzi si è studiato l'*uptake* cellulare di nanovesicole con funzione antinfiammatoria e rigenerativa del tessuto cartilagineo, effettuando misure su tessuti derivati da espunti in pazienti con osteoartrite. La profondità di penetrazione, l'area e il volume occupati e la colocalizzazione sono stati valutati con algoritmi ad hoc. 2) AFM: sono state implementate tecniche di mappatura del modulo di Young in combinazione con la micro-spettroscopia CARS, per la caratterizzazione di *scaffold* in materiali polimerici microstrutturati. 3) TGS: sono state caratterizzate strutturalmente matrici di gel di fibrina, correlando i parametri reticolari ottenuti tramite TPEF con i valori dei moduli elastici longitudinali misurati mediante TGS. 4) OCT: si è progettato un sistema OCT a 1.5  $\mu\text{m}$  per misure 3D, con sistema di scansione con specchi galvanometrici e spettrofotometro basato su reticolo e sensore InGaAs lineare.

**Risultati ottenuti.** 1) Studio dell'assorbimento di vescicole extracellulari in tessuti cartilaginei. 2) Misure su *scaffold* in materiali polimerici. 3) Caratterizzazione di matrici di gel di fibrina a rigidità crescente. 4) Design di un sistema OCT per misure su materiali e tessuti, con rate di acquisizione di 100 pixel al secondo.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio**

**Obiettivi.** Partecipazione a confronti internazionali e studi pilota negli ambiti dei Working Group "Cell Analysis" (CAWG) e "Nucleic Acid Analysis" (NAWG) del CCQM e del Working Group ASTM on Cell Viability.

**Attività svolta.** In ambito CCQM: stesura del report finale dello studio P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate"; realizzazione dello studio P199b "SARS-CoV-2 RNA copy number quantification"; campagna di misure effettuata per lo studio P217 "Enumeration of fixed peripheral blood mononuclear cells in suspension"; definizione del protocollo di misura per lo studio P197 "Proliferative stem cell number per unit area"; avvio del confronto chiave sulla quantificazione del marker tumorale HER2, e degli studi pilota sulla metilazione del DNA e sull'identificazione di proteine in matrici complesse. Avvio del confronto su vitalità cellulare finalizzato allo standard ASTM "New Test Method for Measuring Cell Viability in a Scaffold".

**Risultati ottenuti.** Report finale dello studio P123; eccellenti risultati nello studio P199b in termini di incertezza di misura e riproducibilità; misure di area del materiale di riferimento dello studio P197.

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

**Obiettivi.** Attività in ambito CCQM all'interno dei Working Group 1) IRWG (Isotope Ratios) e 2) CAWG, NAWG e KCWG (Key Comparisons and CMC Quality) e attività normativa in ambito ASTM.

**Attività svolta.** 1) Sviluppo, con il "Chemical Process and Nuclear Measurements Group" del NIST, di un metodo basato su INAA per la misura del rapporto isotopico  $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ . 2) Partecipazione a diversi workshop CCQM-KCWG sul nuovo Key Comparison Data Base (KCDB 2.0) e sottomissione al terzo ciclo di revisione della guida ASTM "Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method".

*Risultati ottenuti.* 1) Misura del rapporto  $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$  con incertezza relativa 0.1%. 2) Affinamento della guida ASTM sulla misura della proliferazione cellulare in scaffold 3D.

### **Attività di networking tra NMI**

*Obiettivi.* Attività nell'ambito delle reti *European Metrology Network* (EMN), all'interno di EURAMET.

*Attività svolta.* Si è contribuito al consolidamento delle reti EMN 1) TraceLabMed e 2) Mathmet.

*Risultati ottenuti.* 1) EMN TraceLabMed: ottimizzazione, mediante una serie di workshop e meeting, della gestione dei rapporti con gli stakeholder e i laboratori impegnati in confronti che rispondono alla normativa UE 2017/746 in termini di riferibilità dei dispositivi medico-diagnostici *in vitro*. 2) EMN Mathmet: sviluppo di software per simulazioni *in silico* nel campo delle nanotecnologie applicate alle scienze della vita; attività di formazione in ambito matematico-numerico; input per la preparazione di un'agenda strategica sul tema AI.

### **Supporto all'accreditamento**

*Obiettivi.* Supporto ad ACCREDIA nel campo dei materiali biologici di riferimento.

*Attività svolta.* Nell'ambito della convenzione con ACCREDIA, è stato seguito un corso di formazione per ispettori di biobanche, per ottemperare alla norma UNI ISO 20387, che si prefigge di assicurare la riproducibilità dei risultati ottenuti su materiali biologici e la qualità dei campioni.

*Risultati ottenuti.* Formazione di un ispettore per supportare l'accreditamento delle biobanche.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Attività rivolta al trasferimento tecnologico**

*Obiettivi.* Contratti e consulenze industriali nei campi biomedicale, sanitario, farmaceutico e ambientale.

*Attività svolta.* Nell'ambito del contratto BIOBANG con la ditta Three-ES, sono stati misurati il rumore di cavitazione idrodinamica prodotta da reattori per trattamenti industriali di biomasse e la dinamica del collasso delle bolle generate. Inoltre, sono stati progettati sensori custom da utilizzare in impianti industriali.

*Risultati ottenuti.* Completamento del contratto di ricerca con la ditta Three-ES.

### **Didattica universitaria e formazione**

*Obiettivi e Attività svolta.* Formazione di studenti di III, II e I livello, e addestramento alla ricerca sullo sviluppo di metodi di analisi e tecnologie per applicazioni biomedicali, metrologiche e nella scienza dei materiali.

*Risultati ottenuti.* Lezioni ed esercitazioni nei corsi di II livello "Radiochimica" (UNIPV) e di I livello "Statistica sperimentale e misure meccaniche" (PoliTO). Tutoraggio di 4 dottorandi (PoliTO) e 2 tirocinanti.

### **Divulgazione scientifica**

*Obiettivi.* Attività di divulgazione nei campi biomedicale, metrologico e della scienza dei materiali.

*Attività svolta.* 1) Si è contribuito alla presentazione dello studio pilota sul SARS-CoV-2 nel corso del "World Metrology Day" (WMD) e attraverso un comunicato pubblicato sul sito del BIPM. 2) Si è svolta attività di carattere divulgativo e didattico sulla modellizzazione di sensori magnetici per applicazioni biomedicali.

*Risultati ottenuti.* 1) Realizzazione di un video per il WMD 2020 dal titolo "Metrology for accurate measures in medicine"; comunicato sul sito del BIPM "National Measurement Institutes Demonstrate High Accuracy Reference Measurement System for SARS-CoV-2 testing". 2) Contributo al compendio didattico/divulgativo rivolto a fisici e ingegneri "Compendium on Electromagnetic Analysis From Electrostatics to Photonics", edito da World Scientific, con il capitolo "Modeling of Nanostructured Magnetic Field Sensors".

<b>Settore ML5 - Magnetismo, materiali e spintronica</b>
Responsabile: Gianfranco Durin

**Personale impegnato (Mesi/Persona)**

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione coordinamento &	Totale
<b>Personale TI</b>						
Patrizio Ansalone	11					11
Carlo Appino	9	1	1			11
Vittorio Basso	7	3			1	11
Cinzia Beatrice	10	1				11
Federica Celegato	9	1			1	11
Marco Coisson	9	1			1	11
Gianfranco Durin	8			1	2	11
Enzo Ferrara	9		1		1	11
Michaela Kuepferling	9			2		11
Alessandro Magni	11					11
Luca Martino	10		1			11
Elena Olivetti	8	1		2		11
Massimo Pasquale	9	2				11
Luciano Rocchino	3	8				11
Alessandro Sola	11					11
Paola Tiberto	7	1			0,8	8,8
Luca Toso		9	2			11
<i>Tot</i>	140	28	5	5	6,8	184,8
<b>Assegni ricerca</b>						
Gabriele Barrera	11					11
<b>Personale in formazione</b>						
Daniele Gastaldo (PhD)	4					4
Adriano Di Pietro (PhD)	8					8
Davide Lamberti (PhD)	2					2
Gajanan Pradhan (PhD)	8					8
Gabriel Soares (PhD)	11					11
<b>Personale associato</b>						
Fausto Fiorillo	3					3
Paolo Allia	3					3
Franco Vinai	0,5					0,5
<i>Tot</i>	50,5					50,5
<b>Totale</b>	<b>190,5</b>	<b>28</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6,8</b>	<b>235,3</b>

**ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

**Magnetismo nei materiali allo stato solido**

*Obiettivi.* Comprensione e misura dei fenomeni magnetici su scala da nano a bulk con analisi dei processi di dissipazione di energia in strutture diverse e frequenze di lavoro; studio degli effetti di modifiche strutturali e/o di composizione dei materiali per ottimizzarne il comportamento magnetico; estensione delle capacità di misura a materiali nuovi e ai minerali naturali.

*Attività svolta.* 1) preparazione e misurazione di materiali magnetici su varie scale spaziali dal bulk fino alla dimensione nanometrica; 2) studio sperimentale e teorico del processo di magnetizzazione (fino ai MHz)

scalare e vettoriale con attenzione ai fenomeni di dissipazione energetica. Misura della magnetostrizione in film sottili tramite microscopia con sonda a scansione (AFM); 2a) indagine magnetoottica su lamierini FeSi GO al variare di frequenza e campo di picco 3) sviluppo di un sistema microscopico magneto-ottico per l'osservazione di strutture magnetiche in nastri o lamierini ferromagnetici. 4) analisi della micro- e nanostruttura magnetica di film sottili mediante microscopia a forza magnetica in campo. 5) studio dei processi di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche mediante tecniche magnetometriche e misure di ipertermia. 6) analisi teoriche per la descrizione dei fenomeni magnetici su diverse scale dimensionali.

*Risultati ottenuti.* 1) riduzione dei fenomeni di dissipazione nei processi di produzione/trasformazione di energia elettromagnetica; 2) miglioramento delle capacità di misura delle grandezze magnetiche in un ampio spettro di condizioni e partecipazione a confronti di misura su nuovi materiali; 2a) cicli magnetoottici, e comparazione struttura a domini con perdite magnetiche fino a 10kHz 3) estensione degli standard e delle capacità di misura a materiali nuovi e a aree di applicazione quali energia, salute, ambiente e beni culturali.

### **Materiali innovativi per la spintronica e il nanomagnetismo**

*Obiettivi.* Preparazione di materiali innovativi ad alto impatto potenziale in campo 1) biomedico, 2) spintronico e sensoristico, 3) industriale.

*Attività svolta.* 1) preparazione di nanostrutture e di 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, di spin-Seebeck, e per la magneto-meccanica; 2) preparazione di nanoparticelle magnetiche per possibili impieghi nel campo biomedico (i.e. magnetic imaging, ipertermia magnetica o drug delivery); 4) idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica mediante tecnica sonnochimica (collaborazione con ML4); 5) crescita e caratterizzazione film sottili con magnetoresistenza anisotropica per sensoristica biomedica; 6) preparazione di film multifunzionali compositi (leghe magnetostrittive accoppiate meccanicamente con substrati flessibili o piezoelettrici, per attuazione magnetica con campi elettrici; 7) studio per la realizzazione di leghe Heusler sotto forma di film sottili cresciuti per sputtering ed epitassia a fascio molecolare (collaborazione con ML1). 8) sviluppo di materiali metallici amorfi, con proprietà antibatteriche per applicazioni biomediche (collaborazione con DISAT - PoliT0).

*Risultati ottenuti.* 1) perfezionamento delle competenze necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per la biomedicina, la spintronica, la sensoristica e l'industria; 2) presentazione e pubblicazione dei risultati ottenuti nell'ambito dei progetti finanziati.

### **Spintronica**

*Obiettivi.* 1) Spin caloritronics: studio dell'interazione fra correnti di spin e correnti di calore. 2) Spin currents: studio della generazione e conduzione delle correnti di spin e della loro interazione con strutture magnetiche attraverso effetto "spin (orbit) torque"; 3) Dzyaloshinskii-Moriya Interaction (DMI): studio della costante di DMI in diversi tipi di eterostrutture elettroniche ed effetto sulle strutture magnetiche chirali. 4) Spin waves and Magnonics: studio delle onde di spin o di magnetizzazione in sistemi non-planari e relazione di dispersione non-reciproca.

*Attività svolta.* 1) spin Seebeck/Peltier su campioni bi-layer di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt e YIG/Pt a diverse geometrie; 2) a) spin Hall magnetoresistance su campioni bi-layer di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt e YIG/Pt a diverse geometrie; b) effetti di spin orbit torque su bilayer metalli pesanti (Pt, W) e ferromagnete (CoFeB). c) studio dell'accoppiamento tra spin currents e campo elettrico mediante DFT; d) misure magnetoottiche e di magnetoresistenza AMR/SMR tramite Hall bar su wedge Pt/Fe<sub>60</sub>Co<sub>20</sub>B<sub>20</sub>/Ta 3) a) Ottimizzazione della misura della DMI con sistema magnetoottico e degli algoritmi correlati per la stima del valore nell'espansione di bolle magnetiche. b) round robin della misura DMI con magnetoottica e BLS e analisi dei risultati c) "literature review" sulla misura della DMI in film sottili. d) analisi del round robin sulla DMI. e) studio degli effetti di campo elettrico sulla interazione DMI e sull'anisotropia magnetica. (ambito progetto EMPIR TOPS); 4) a) onde di spin in geometria sferica o cilindrica. b) effetti di non-reciprocità nella relazione di dispersione delle onde di spin. c) misura della dispersione di onde di spin attraverso la fase acquisita.

*Risultati ottenuti.* 1) curve di magnetoresistenza al variare dello spessore del Pt, correlate al comportamento magnetoottico della Hall bar e valutazione della conducibilità di correnti di spin "puri" in isolanti magnetici, spin Hall angle di Pt, efficienza dello spin orbit torque in sistemi ferromagneti metallici/metalli pesanti e effetti del campo elettrico sulle correnti di spin 2) a) stima del valore di DMI con il metodo dell'espansione di bolle magnetiche. b) round robin per misura DMI con magnetoottica e BLS c) paper submitted in RMP sulle misure della costante di DMI di interfaccia, setup e tecniche di misura incluso modelli per valutare la costante di DMI in modo affidabile (capacità di misura), comprensione della dispersione dei dati di misura della costante di DMI (paper), comprensione degli effetti del campo elettrico sulla interazione DM; 3) studio teorico e sperimentale delle onde di spin in sistemi non-planari; 4) misura del coefficiente di spin Seebeck in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Pt in funzione della temperatura. 5) messa a punto di una tecnica di imaging magnetico tramite effetto spin Seebeck locale.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Metrologia magnetica**

*Obiettivi.* 1) Miglioramento e consolidamento della metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici; 2) Anticipazione dei bisogni metrologici nei campi della spintronica e del nanomagnetismo.

*Attività svolta.* 1) Reperimento campioni di riferimento da produttori acciaio magnetico internazionali; Pianificazione di round robin per le misure di perdita su Epstein e SST (progetto HEFMAG). Progettazione di nuova strumentazione a controllo digitale per il laboratorio di magnetismo (banco balistico digitale e nuovo wattmetro). Misura magnetica in regimi non convenzionali (nuovi materiali commerciali di basso spessore, alta temperatura, alta frequenza, flusso distorto, presenza di effetto pelle, flussi bidimensionali). Realizzazione di esperimenti di risonanza magnetica nucleare tramite il metodo del rilassamento spontaneo. 2) Definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle (progetto MagNaStand); 3) Partecipazione a Project Team for new standard - Technical Specification IEC/TC 113/PT 62607-9-1 "Nanomanufacturing – Key Control Characteristics – Part 9-1: Spatially resolved magnetic field measurements – Magnetic Force Microscopy" (progetto NanoMag).

*Risultati ottenuti.* Consolidamento e miglioramento delle CMC dichiarate. Rapporti tecnici sulla nuova strumentazione e sugli esperimenti effettuati. Pubblicazioni nel campo dei materiali magnetici.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Formazione e divulgazione scientifica**

*Obiettivi.* 1) formazione di laureandi, dottorandi e giovani ricercatori; 2) didattica di primo, secondo e terzo livello presso gli atenei piemontesi; 3) consolidamento della collaborazione con l'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione; 4) offerta di attività didattiche di base e percorsi di approfondimento sull'elettromagnetismo adatte alla scuola primaria e secondaria; 5) richiamo dell'interesse del pubblico verso i temi del magnetismo e delle tecnologie ad esso associate

*Attività svolta.*

- Corsi "*Magnetism, magnetic materials and measurements*" (III livello, PoliTO)
- Corso "*Fisica dello stato solido e laboratorio: laboratorio (materiali magnetici)*" (Corso di I livello, Università del Piemonte Orientale),
- Tutoraggio di tirocini e tesi di laurea triennale e magistrale e di dottorato
- Partecipazione alla [Biennale Tecnologia per le scuole](#) organizzata dal Politecnico di Torino per la divulgazione delle scienze nelle scuole primaria e secondaria di I grado (2 laboratori sul magnetismo svolti per 11 classi)
- Partecipazione all'iniziativa "Gli enti di ricerca per studenti, insegnanti e famiglie" promossa da INDIRE con la presentazione di un [webinar](#) sul magnetismo per gli studenti di scuola secondaria di II grado
- Partecipazione ai gruppi di lavoro "*Education & Outreach*" e "*AIMagn Colloquia*" dell'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione
- Partecipazione al Centro Interdipartimentale per la Cristallografia Diffrattometrica (CRISDI) dell'Università di Torino
- Partecipazione ad eventi di *public engagement* (realizzazione di un webinar nella Rassegna di Cocktail di Scienza per le Settimane della Scienza)

*Risultati ottenuti.* 1) Tesi di laurea magistrale e di dottorato; 2) Contributo alla formazione di studenti delle scuole superiori, universitarie giovani ricercatori; 3) Divulgazione al grande pubblico per mostrare l'importanza per la società della ricerca nel campo dei materiali e dispositivi magnetici.

### **Trasferimento tecnologico**

*Obiettivi.* Trasferimento di tecniche di misura e di modellizzazione avanzata per materiali magnetici

*Attività svolta.* 1) Attività di disseminazione nell'ambito dei progetti europei EMPIR 19ENG06- HEFMAG, TOPS, BEMAGIC e MagnEFi; 2) Attraverso il consorzio Proplast, offerta di trasferimento tecnologico alle aziende piemontesi; 3) Organizzazione simposio "*Magnetic based metrology tools and techniques*" alla conferenza JEMS2020; 4) Promozione e svolgimento di contratti industriali con aziende italiane e straniere operanti nel settore elettrotecnico.

*Risultati ottenuti.* 1) Consolidamento del ruolo del gruppo nei confronti di stakeholders nazionali e internazionali; 2) ampliamento del bacino d'utenza per l'attività di caratterizzazione dei materiali.

## Divisione Metrologia applicata e ingegneria

Responsabile: Michela Segà

### Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2020

Ricercatori e Tecnologi: 38. Tecnici: 24

### Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 8. Associati e incarichi: 5

### 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 all'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.

SETTORE	DESCRIZIONE
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, durezze, 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 2020 a 35 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 (16NRM02 SURFACE, 17NRM03 EUCoM, 18NRM03 INCIPIT e 19SIP ENV58b CRB). La Divisione è stata inoltre attiva nella proposizione di proposte di progetto in tutte le Call EMPIR 2020, ottenendo l'approvazione di un nuovo progetto a coordinamento INRiM nella *Call Industry* (20IND06 PROMETH2O). Nell'anno 2020 sono stati pubblicati 51 lavori su riviste internazionali indicizzate (di cui 49 con *Impact Factor*).

Nel corso del 2020, la Divisione ha partecipato alle attività, alle riunioni e alle conseguenti iniziative di due *European Metrology Networks* (EMN), reti approvate alla General Assembly di EURAMET del 2018.

**EMN for Climate and Ocean Observation**, 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. In questo contesto, ha fornito nel 2020 un contributo alla rete mediante attività di servizi metrologici e disseminazione, partecipazione attiva alle iniziative della rete, rappresentanza negli organismi internazionali rilevanti ai temi di interesse della rete, presentazione della rete in eventi internazionali, mantenendo e rafforzando le collaborazioni con i vari *stakeholder* sia a livello nazionale sia a livello internazionale. Nel corso del 2020 sono stati organizzati eventi a carattere generale della rete: nei giorni 12 e 13 febbraio 2020 si è tenuta una serie di "*International Webinar on Metrology Needs for Climate and Ocean Observation*", articolati sulla base dei tre pilastri della rete e rivolti sia agli istituti metrologici sia agli stakeholder. Nei giorni 10 e 11 giugno 2020 è stata organizzata l'assemblea generale dell'EMN (*Annual General Meeting*). Tra le iniziative di rilievo si segnala la conclusione della consultazione con i vari *stakeholder* che ha prodotto il documento "*European Metrology Network for Climate and Ocean Observation - Stakeholder Needs Review Report 2020*".

**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, incentivando la collaborazione all'interno di progetti scientifici e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni, convegni dedicati e materiale didattico. L'INRiM è coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN. Nell'ambito delle attività di formazione e disseminazione di competenza della rete, l'INRiM ha organizzato, in collaborazione col Politecnico di Torino, la seconda edizione del *workshop* "*Mathematical and Statistical Methods for Metrology*", che si terrà nella primavera 2021 in modalità virtuale. Inoltre, si è continuata l'attività di tutoraggio rivolta a studenti di vario livello e sono stati erogati diversi corsi di formazione. Sul piano della ricerca, sono state svolte numerose attività scientifiche e tecniche in ambito matematico, statistico e modellistico, censite nelle schede dei vari settori sulla base dell'afferenza del personale coinvolto.

La Divisione ha proseguito nelle attività legate alla costituzione della **EMN on Advanced Manufacturing**, anche partecipando attivamente al progetto EMPIR 9NET01 AdvManuNet ad essa associato.

La Divisione è stata inoltre coinvolta nel 2020 nel processo di formulazione della **EMN on Clean Energy**, anche come partner nella proposta di JNP ad essa associato e classificato tra i progetti cofinanziati.

## Ricerca e Sviluppo

Nel corso dell'anno 2020, per quanto concerne le attività nella **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnalano i seguenti risultati di rilievo:

- lo sviluppo di un metodo innovativo per la taratura di misuratori di portata di liquidi, basato sulla pesatura dinamica. Il principio di misura sviluppato, ha permesso di ottenere un modello di misurazione notevolmente semplificato rispetto agli altri metodi dinamici attualmente in uso, riducendo, di conseguenza, i contributi di incertezza che influenzano la taratura. Il sistema di misura è stato testato nel campo tra  $10 \text{ kg h}^{-1}$  e  $60 \text{ kg h}^{-1}$ , ma è anche particolarmente adatto per portate inferiori. Le incertezze ottenute sono dell'ordine del 0,01 %, allo stato dell'arte per questo campo di portate. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.058).
- l'attività di ricerca connessa allo sviluppo di un metodo innovativo per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante utilizzati per le misure di durezza Knoop. Modificando in modo opportuno la strumentazione già disponibile in laboratorio, il metodo è stato implementato e si sono ottenuti i primi valori di misurazione. I risultati sono stati confrontati con quelli di un laboratorio estero, confermando la bontà del metodo e la corretta valutazione dell'incertezza e hanno originato una pubblicazione sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 3.364). Questo sviluppo renderà possibile implementare delle nuove CMC da inserire nel KCDB del BIPM in ambito CIPM MRA, attualmente non dichiarate da nessun altro laboratorio al mondo.

Sulle tematiche della **Metrologia della lunghezza**, sono di particolare importanza i seguenti risultati conseguiti nell'anno 2020:

- lo studio effettuato sulla stima della tensione superficiale prodotta da uno strato di alcuni nanometri di rame depositato attraverso un metodo galvanico su una lamina di Si spessa meno di 1 mm. La misura della deformazione indotta dal sottile strato di rame è stata fatta tramite la topografia X a contrasto di fase, per cui la lamina di Si è in realtà una delle tre lamine di un interferometro X triplo Laue monolitico. La sensibilità del metodo ha permesso di misurare deformazioni dell'ordine di 2 pm/mm e ha rappresentato il primo passo verso la stima dell'effetto della tensione superficiale dovuta all'ossido nativo sulla determinazione del passo reticolare del Si tramite interferometria X. Grazie ad una simulazione agli elementi finiti della lamina, è stato altresì possibile stimare il valore della tensione superficiale del film di rame che è risultata essere di circa 0,3 N/m per nm di spessore. La topografia X a contrasto di fase ha dimostrato di essere in grado di determinare lo stress superficiale di diversi film depositati su Si, con possibili ricadute sulle tecnologie basate su substrati di Si. I risultati dello studio sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *Journal of Applied Crystallography* (IF 2.995).
- lo studio delle interazioni punta-campione nella caratterizzazione AFM di una nanostruttura bio-vegetale (Tobacco Mosaic Virus) a forma di bastoncino con un diametro di circa 18 nm come riferimento su scala nanometrica. Quando viene ripreso dall'AFM, il diametro del TMV è determinato come l'altezza superiore dell'asta dal profilo di sezione trasversale ricostruito di virioni isolati, depositati su un substrato piatto come la mica. Le interazioni punta-campione-substrato vengono discusse con riferimento a dati e modelli sperimentali in letteratura, al fine di determinare le deformazioni e l'incertezza associata delle correzioni, con cui la differenza tra il diametro dell'altezza superiore ricostruito da AFM e il valore di riferimento si riduce a circa 0,3 nm. Lo studio ha dato origine a una pubblicazione sulla rivista internazionale *Measurement Science and Technology* (IF 1.857).

Nell'ambito delle **Misure elettriche ed elettroniche**, è di particolare rilevanza lo studio relativo al confronto tra due ponti per le misure di resistori di altissimo valore nell'intervallo compreso tra 100 G $\Omega$  e 1 P $\Omega$ . Il ponte di riferimento è stato costruito all'INRiM e utilizzato con successo nel corso di un ciclo di confronto internazionale; lo strumento caratterizzato è di tipo commerciale, prodotto dalla MI. Il lavoro ha consentito il

miglioramento del *software* di controllo dello strumento commerciale che originariamente degradava significativamente le prestazioni oltre i 10 TQ. I risultati sono stati presentati al simposio internazionale 24<sup>th</sup> *IMEKO TC4 International Symposium 22<sup>nd</sup> International Workshop on ADC and DAC Modelling and Testing IMEKO TC4 2020* e pubblicati negli atti del congresso.

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

- lo studio condotto da un gruppo di ricerca del Politecnico di Torino (SMaLL) e dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) che ha proposto una tecnologia per raffrescare gli ambienti basata su fenomeni passivi, ossia processi spontanei come la capillarità o l'evaporazione, sfruttando direttamente la radiazione solare e la comune acqua salata invece di compressori che necessitano di energia elettrica e di composti chimici potenzialmente dannosi per l'ambiente. La caratteristica vincente del dispositivo risiede nella sua modularità: le unità refrigeranti possono funzionare autonomamente oppure essere disposte in serie, come accade con le comuni batterie, per aumentare l'effetto di raffrescamento. Il sistema permette, quindi, di ridurre l'impatto energetico e ambientale del raffrescamento degli edifici. I risultati dello studio sono stati pubblicati sulla prestigiosa rivista internazionale *Science Advances* (IF 13.116).
- la realizzazione, presso i laboratori di termodinamica dell'INRiM, di un apparato sperimentale per la misura della velocità del suono in fluidi a temperature criogeniche. Tale apparato ha permesso di ottenere misure di velocità del suono in metano liquidi lungo cinque isoterme (130, 134, 140, 150 e 162) K e per pressioni fino a 10 MPa. I risultati sperimentali sono stati confrontati con i risultati esistenti in letteratura e con quelli ottenuti utilizzando sia l'equazione di stato di Setzmann e Wagner, sia il modello GERG-2008 e sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *Journal of Chemical Thermodynamics* (IF 2.34).

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

- la pubblicazione sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 3.364) del *position paper* del progetto IUPAC/CITAC 2019-012-1-500 "*Influence of a mass balance constraint on uncertainty of test results of a substance or material and risks in its conformity assessment*" ([https://iupac.org/projects/project-details/?project\\_nr=2019-012-1-500](https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2019-012-1-500)). Vengono sviluppati modelli Bayesiani per la valutazione della probabilità di conformità e del rischio di decisioni errate nella valutazione di conformità di oggetti multicomponente le cui componenti sono soggette al vincolo di massa, tenendo conto delle incertezze e delle covarianze presenti tra le componenti stesse. L'articolo ha ricevuto il CITAC *Best Paper Award* per l'anno 2020 e sarà oggetto di presentazione in un *webinar* dedicato, organizzato dal CITAC, nell'anno 2021.
- il proseguimento della proficua collaborazione con il Centro Ricerche Ambiente Marino di S. Teresa (ENEA), che ha portato alla pubblicazione sulla rivista internazionale *Journal of Marine Science and Engineering* (IF 2.033), in cui si riporta il confronto di numerosi profili di temperature e salinità marine, ottenuti, con diverse tipologie di sensori, (approssimativamente) negli stessi punti spaziali e temporali del Mar Mediterraneo. A valle della valutazione dell'incertezza associata, si è dimostrata, ad esclusione delle rilevazioni nella fascia superficiale, una sostanziale equivalenza metrologica tra i sensori considerati.
- la collaborazione con il *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), portata avanti mediante un *secondment* presso il BIPM nel 2018, nell'ambito della quale INRiM ha contribuito alla realizzazione del sistema per la misura dei rapporti degli isotopi stabili in CO<sub>2</sub> pura, realizzato e messo a punto al BIPM, mediante spettroscopia infrarossa per i rapporti isotopici (IRIS). Tale sistema consente di ottenere misure di  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  con una riproducibilità pari a 0.02 ‰ (1  $\sigma$ ). Il sistema è stato validato utilizzando campioni di CO<sub>2</sub> pura nell'intervallo di valori di  $\delta^{13}\text{C}$  tra - 1 ‰ e -45‰ vs VPDB. Mediante tale sistema di campionamento e di misura è possibile ottenere riproducibilità di misura mediante la spettroscopia IRIS che si avvicinano alle riproducibilità ottenibili mediante la spettrometria di massa. La descrizione del sistema è stata oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.058).

- la pubblicazione sulla rivista internazionale *Lighting Research and Technology* (IF 2.226) di una *review* che passa in rassegna le linee guida, gli *standard*, i dispositivi di misurazione e la letteratura disponibili relativamente alle geometrie di misura delle proprietà di riflessione dei manti stradali, elemento fondamentale per la progettazione di impianti di illuminazione stradali capaci di assicurare sia la sicurezza stradale sia il risparmio energetico. È anche dettagliata la raccomandazione del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE, coordinato da INRiM, di utilizzare delle condizioni geometriche di misura alternative che consentano una maggior accuratezza di misura, l'implementazione di dispositivi di misura non solo più precisi ma anche meno costosi, una ottimizzazione delle condizioni di visione con un incremento della sicurezza stradale e infine una migliore accuratezza in fase di verifica normativa degli impianti. Le geometrie proposte sono diverse a seconda delle diverse condizioni di guida e degli utenti della strada e si riferiscono alle condizioni angolari di osservazione: 2,29° per gli ambienti urbani e per la coerenza con lo standard della segnaletica stradale, e 1° per l'ambiente extraurbano e per la coerenza con le geometrie precedenti. Un angolo di 5°, corrispondente alla distanza di osservazione di 17 metri, potrebbe essere un compromesso interessante, adatto alla guida urbana a bassa velocità, ai ciclisti e alle nuove forme di mobilità urbana. Gli angoli di 10° e 28° sono sottoposti alla considerazione dei comitati tecnici e normative per applicazioni (*smart lighting*) che necessitino di distinguere tra comportamento in riflessione diffusa e speculare.

## Ruolo NMI

La Divisione mantiene 12 Campioni Nazionali e ne sviluppa e mantiene numerosi altri in tutti i settori scientifici di pertinenza. Nel 2020 sono risultati attivi 36 confronti internazionali di misura nei settori della massa e grandezze apparentate, vibrazioni, lunghezza, termometria, elettromagnetismo, chimica (analisi di gas). Sono stati emessi quasi 1.000 certificati di taratura e prova, di cui un quinto rivolti a laboratori e gruppi di ricerca dell'INRiM, e circa 100 relazioni di ILC, distribuiti nelle aree AUV, EM, L, T, M.

La Divisione ha garantito nel 2020 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. In ambito IMEKO, mantiene il ruolo di delegato nazionale, la *Chairpersonship* dei TC8 e TC 9 e la segreteria del TC 12. Ricopre inoltre i ruoli di *Co-Chairmanship* nel *Task Team Uncertainties* CIMO-WMO, di *Chair-Rapporteur on Climate and reference stations – Commission of Climatology* – WMO. Garantisce la partecipazione come delegato nazionale a vari *expert team* del WMO e del GRUAN. Nella prima metà del 2020 ha inoltre mantenuto la *Chairpersonship* di CITAC e la segreteria scientifica di Eurachem.

Per l'anno 2020 si segnalano i seguenti risultati di rilievo principale.

Per quanto riguarda la **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.058) i rapporti finali di 5 confronti internazionali di misura in varie aree metrologiche (massa, volumi, durezza, densità). Si segnalano in particolare:

- la pubblicazione su *Metrologia* (IF 3.058) del rapporto finale del confronto supplementare bilaterale EURAMET sulle scale di durezza Rockwell di due istituti nazionali di metrologia, INRiM e UME (Turchia), in cui l'INRiM ha svolto il ruolo di laboratorio pilota. In entrambi gli Istituti le misure di durezza Rockwell sono effettuate secondo le norme ISO 6508-1:2016 e ISO 6508-3:2015, compresa la nuova definizione delle scale Rockwell accettata dal CIPM/CCM WGH. Le scale di durezza Rockwell utilizzate per il confronto sono state l'HRA, HRBW e HRC che sono quelle più comunemente utilizzate in ambito industriale. Il confronto ha potuto dimostrare che i risultati di misurazione e le valutazioni di incertezza dichiarate da INRiM e UME sono coerenti tra loro.
- la pubblicazione su *Metrologia* (IF 3.058) del rapporto finale del confronto chiave (*Key Comparison*) EURAMET.M.FF-K4.1.2016 sul volume di liquidi svolto in ambito EURAMET, relativo alla taratura di un campione di volume da 20 L, in cui l'INRiM ha svolto il ruolo di laboratorio pilota. I laboratori partecipanti sono stati 21. La compatibilità dei risultati è avvenuta valutando il grado di equivalenza in

relazione al confronto svolto a livello CIPM “CCM.FF-K4.1.2011”, in cui aveva preso parte anche l'INRiM.

Si segnala inoltre che è stato realizzato un sistema di taratura per accelerometri triassiali MEMS digitali ed è stata fornita la riferibilità per sensori con uscita digitale. Il sistema di taratura permette di determinare contemporaneamente la sensibilità principale e trasversale nel dominio della frequenza (da 5 Hz a 3 kHz) e in condizioni statiche. La procedura, basata sul confronto con un trasduttore di riferimento, prevede a eccitazione monoassiale di piani inclinati. I risultati sperimentali sono espressi in termini di matrici di sfruttamento e sensibilità. Le incertezze generali estese sui termini principali sono nell'ordine del 2%, in condizioni dinamiche, e dell'1% -2% in condizioni statiche. Questo sistema può essere implementato per lo sviluppo di sistemi di controllo in linea dei produttori e per lo studio di procedure di calibrazione su larga scala. È stato inoltre effettuato un confronto bilaterale su 25 sensori MEMS, al fine di verificare le condizioni di riproducibilità del sistema di taratura con l'Università dell'Aquila. Queste attività hanno consentito la pubblicazione di un articolo sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.058) e negli atti del 2020 IEEE *International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*.

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, sono state eseguite attività di taratura degli accelerometri per la missione ESA-JUICE. L'attività nell'ambito di un contratto Thales-Alenia Space è consistita nella definizione della strategia di misura, nel progetto e realizzazione della *facility*, e l'esecuzione dei test. Il risultato è la taratura degli accelerometri che voleranno sulla missione JUICE per l'esplorazione delle lune di Giove, su tre assi, per diverse temperature con una accuratezza relativa migliore di 100 ppm (assoluta dell'ordine di  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>). Per quanto riguarda la partecipazione a confronti internazionali di misura si segnalano i seguenti risultati di rilievo:

- la redazione e successiva circolazione del *Draft B* del rapporto del confronto chiave sui campioni diametrali coordinato da INRiM. Dodici laboratori EURAMET hanno partecipato al gruppo 1, mentre undici laboratori di EURAMET e due laboratori di altri RMO hanno partecipato al gruppo 2. CEM, INRiM e METAS hanno partecipato ad entrambi i gruppi. I valori di riferimento KCRV sono stati calcolati per i singoli gruppi e per i gruppi collegati tra loro. Il grado di equivalenza valutato attraverso l'errore normalizzato  $E_n$  risulta maggiore di 1 per circa il 5% dei risultati presentati di diametro e rotondità.
- la pubblicazione sulla rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.058) del rapporto finale dei risultati del confronto chiave inter-RMO EURAMET.L-K5.2016 sulla taratura di calibri a passi, che ha visto la partecipazione di ventidue Istituti Metrologici Nazionali provenienti da quattro differenti organizzazioni metrologiche regionali (RMO). I risultati ottenuti dall'INRiM hanno permesso di proporre una revisione della CMC con estensione del campo di misura e riduzione dell'incertezza.

Sul fronte delle **Misure elettriche ed elettroniche**, si segnala la partecipazione al confronto internazionale EURAMET.EM-S42 relativo ai sistemi di misura di alte tensioni impulsive, il cui rapporto finale è stato pubblicato nel 2020 sulla rivista *Metrologia*. I risultati ottenuti permetteranno il *reinstatement* di 15 CMC, in carico al LATFC, relative all'impulso atmosferico e la presentazione di una nuova CMC sull'impulso troncato. Questo permetterà la riattivazione del servizio di taratura.

È di particolare rilievo l'attività svolta nell'ambito delle prove di cortocircuito, essenziali per la validazione della sicurezza e dell'affidabilità delle apparecchiature elettriche. In questo contesto, l'INRiM ha recentemente sviluppato sistema di riferimento in grado di tarare i trasduttori utilizzati nelle misure di cortocircuito direttamente in condizioni dinamiche e comparabili a quelle presenti durante i test di cortocircuito. I risultati sono stati presentati al IV Forum Nazionale delle Misure.

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, è di particolare rilievo la pubblicazione sul KCDB del BIPM di 14 nuove capacità di misura e taratura (CMC) in ambito termico: 1 CMC riguarda la taratura per confronto di termometri rodio-ferro nel campo tra 4 K e 27 K (1 CMC); 6 CMC riguardano l'estensione del riconoscimento delle capacità di taratura di diversi tipi di termocoppie, in particolare l'estensione della taratura ai punti fissi di termocoppia tipo S e tipo R sino al punto fisso del rame (1084,62 °C); 3 CMC riguardano la taratura in bagno di azoto liquido a pressione atmosferica a -196 °C di termometri a resistenza di tipo industriale e di indicatori di temperatura con sonda; 4 CMC riguardano la taratura di termometri a radiazione: ai punti fissi tra 156 °C e

962 °C e per confronto da 50 °C a 960 °C usando una sorgente corpo nero.

Si segnala inoltre la pubblicazione del rapporto finale relativo al confronto EURAMET.T-S3 riguardante la taratura di termocoppie platino-palladio da 419,527 °C (temperatura di solidificazione dello zinco) fino a 1492 °C (temperatura di fusione del punto eutettico palladio-carbonio), sia con il metodo dei punti fissi, che con il metodo del confronto. Hanno partecipato 19 istituti metrologici nazionali e il Centro Español de Metrología (CEM) ha esercitato il ruolo di coordinatore. Le misure di INRIM sono state eseguite dai laboratori di termometria primaria temperature intermedie, di termometria industriale e di termometria a radiazione.

Per quanto concerne la **Termodinamica applicata**, di particolare rilievo sono i risultati ottenuti nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE "Pavement surface characterization for smart and efficient road lighting", coordinato da INRIM. In questo contesto, sono stati progettati e successivamente realizzati con la stampa 3D, dei Materiali di Riferimento (RM) per il coefficiente di luminanza di asfalti, che sono stati utilizzati successivamente durante la prima *Intercomparison* sul coefficiente di luminanza, realizzata sempre nell'ambito del sopracitato progetto. Sono quindi disponibili al sistema di Accreditamento Europeo Materiali di Riferimento Certificati (CRM) realizzati in stampa 3D la cui facile implementazione e disseminazione è assicurata dall'IoT. Le due modalità di progettazione sono state oggetto di deposito di brevetto nazionale.

### 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 <sup>3</sup> , 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 <sup>3</sup> , realizzazione campioni di volume
AE1	Densità di liquidi, unità di misura kg/m <sup>3</sup> , realizzazione campioni di densità
AE1	Accelerazione di gravità locale, unità di misura m/s <sup>2</sup> , realizzazione: gravimetro assoluto trasportabile
AE1	Accelerazioni dinamiche, unità di misura m/s <sup>2</sup> , 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 <sub>2</sub> 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 dei settori. Nel 2020, 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 4 enti di accreditamento stranieri. Ha partecipato all'attività di normazione nazionale e internazionale, a commissioni tecniche di settore e garantito la presenza in tavoli tecnici del MISE per le grandezze e settori di pertinenza.

Per quanto riguarda le attività della **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnala, per il particolare rilievo, l'organizzazione e lo svolgimento di un corso di formazione per la realizzazione della scala di massa nell'ambito del progetto EMPIR 19RPT02 RealMass "*Improvement of the realisation of the mass scale*", di cui INRiM è responsabile del WP3 "*Development of mathematical and software tools*". Il corso, rivolto agli istituti che partecipano al progetto, si è svolto in modalità remota e ha avuto una durata di 20 ore suddiviso in 4 giorni. Ai partecipanti sono stati forniti fogli di calcolo preparati dall'INRiM per la realizzazione della scala di massa.

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, tra i risultati principali ottenuti nel 2020, si segnalano:

- il rilascio (*granted*) di brevetto internazionale dal titolo "*System for determining the characteristics of a gas and related method for measuring such characteristics*", EP 3394595 B1 20200311 (EN). L'invenzione riguarda un sensore di densità di un gas basato sullo *scattering* di Rayleigh. Il dispositivo permette di effettuare misure di pressione con un singolo strumento su un *range* di almeno 6 ordini di grandezza (da 1 Pa a 1MPa). Sul principio brevettato è stato realizzato un dispositivo per la misura della polarizzabilità relativa di diversi gas nell'ambito del progetto EMPIR Quantum Pascal
- l'iniziativa denominata "[mini percorsi di formazione](#)" attivata dal CMM Club Italia in risposta all'iniziativa [Solidarietà digitale](#) lanciata dal governo all'inizio della pandemia da Covid-19. In questo contesto, è stata resa disponibile una *suite* di corsi *on line* gratuiti. Il successo dei mini percorsi è confermato dalle quasi 2000 visualizzazioni nel 2020.

Per quanto riguarda le **Misure elettriche ed elettroniche**, si segnala lo studio approfondito del comportamento sulle connessioni elettriche crimpate in seguito a sollecitazioni di tipo meccanico. Lo studio mostra gli effetti meccanici in particolare sulla resistenza elettrica di contatto tra cavi e le terminazioni maggiormente utilizzate nei cablaggi industriali e nel campo automotive. I risultati hanno dato origine a due

pubblicazioni sulle riviste internazionali *Measurement Science & Technology* (IF 1.861) e *Engineering Research Express*.

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, un risultato di particolare rilievo è stato conseguito nell'ambito delle attività di trasferimento tecnologico previste dal progetto EMPIR 17IND12 Met4FoF "*Metrology for the factory of the future*". In questo contesto, è stato congiuntamente organizzato da INRiM e PTB un *workshop*, rivolto agli *stakeholders* del progetto, per presentare i risultati ottenuti nella taratura dinamica di sensori, nella taratura di sensori digitali MEMS, e nello sviluppo di strumenti matematici utili per la metrologia delle reti di sensori. Il *workshop* ha riscontrato una buona partecipazione (oltre 30 partecipanti) dall'industria, dall'accademia e dagli NMI. Per verificare il gradimento del *workshop* stato inviato un successivo questionario a cui hanno risposto circa il 50 % dei partecipanti. Il riscontro è stato complessivamente molto positivo.

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

- l'organizzazione di 3 *Webinar* internazionali con un totale di 10 presentazioni, dedicati a presentare le nuove geometrie ottimizzate per la caratterizzazione delle prestazioni fotometriche degli asfalti, il loro impatto sui consumi energetici e sicurezza stradale, strumenti e metodi di misurazione sia in laboratorio che on-site su strada e valutazione dell'incertezza di misura. Tali seminari hanno sofferito alla cancellazione, in seguito alla situazione pandemica, del Terzo Simposio internazionale "*Road surface photometry*" che INRiM avrebbe dovuto organizzare con il supporto di CEREMA, durante la riunione annuale della Divisione 4 della CIE nel mese di maggio in Slovacchia. La partecipazione totale ai *Webinar* è stata di circa 100 persone, soprattutto dai paesi Europei e dal Giappone, con il quale è stata implementata nel corso degli anni una collaborazione con le imprese Panasonic e Nexco-Ri. Le presentazioni e le registrazioni dei *Webinar* sono disponibili sul sito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE coordinato da INRiM.
- il deposito di due brevetti italiani (Domanda di brevetto italiana n. 102020000026711 e n. 102020000026735) relativi alle due modalità di progettazione di Materiali di Riferimento Certificati (CRM) per il coefficiente di luminanza di asfalti sviluppati nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE. I due brevetti INRiM rappresentano una delle prime applicazioni metrologiche di CRM basati su IoT.

Di particolare interesse risulta inoltre l'iniziativa a carattere trasversale portata avanti dai settori AE02, AE01 e AE04 nell'ambito della "*Call for action – Innova per l'Italia*", con l'avvio di un progetto dal titolo "*Validazione, test pass/fail e test termici di filtri per DPI e di maschere e semimaschere filtranti*" (progetto 2407 del 08/04/20, sottoposto in risposta al suddetto bando) allo scopo di supportare la realizzazione di un laboratorio per la verifica dei requisiti di qualità e sicurezza delle mascherine facciali ad uso medico (DM) e dei dispositivi di protezione individuale (DPI) basati sulla filtrazione dell'aria. Seguendo lo spirito del bando dettato dall'emergenza pandemica, INRiM ha supportato, con ore di lavoro del personale, con la messa a disposizione di attrezzature e con la taratura di strumenti, la ditta Fonderia Mestieri Srl che ha avuto l'ambizione di realizzare una stazione di verifica della certificazione. La stazione di Fonderia Mestieri Srl opera oggi come laboratorio esterno di un ente certificatore e permette di controllare la qualità dei prodotti già in commercio nonché di certificare prodotti di nuova realizzazione, venendo a colmare un vuoto nelle disponibilità della Nazione.

<b>Settore AE1 – Metrologia della massa e delle grandezze apparentate</b>
Responsabile: Alessandro Germak

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Domenico Mari <sup>(1)</sup>	5	3				8
Stefano Pasqualin <sup>(2)</sup>	2	8,5			0,5	11
Milena Astrua <sup>(3)</sup>	1	2				3
Alessandro Germak <sup>(4)</sup>	3	4,5	1	1	1,5	11
Alessio Facello	3	6	2			11
Claudio Origlia <sup>(5)</sup>	2	5	1		3	11
Alessandro Schiavi	6	4	1			11
Fabrizio Mazzoleni	3	6	2			11
Pier Giorgio Spazzini <sup>(6)</sup>	3	4	1	1		9
Gaetano La Piana	2	9				11
Aline Piccato <sup>(7)</sup>	1					1
Marco Bisi <sup>(8)</sup>	1					1
Andrea Malengo	3	3	3	2		11
Davide Torchio	3	7	1			11
Adelina Leka <sup>(9)</sup>	1	4	2		4	11
Marco Santiano <sup>(10)</sup>	1	1				2
<i>Tot</i>	<b>40</b>	<b>67</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>134</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Andrea Prato	8	3				11
Fabio Saba <sup>(11)</sup>	2	1				3
<b>Personale in formazione</b>						
Amara Toure'	1					1
Andrea Emonti	2					2
Salvatore Nobile	1					1
Tommaso Maria Pandolfi	2					2
<i>Tot</i>	<b>16</b>	<b>4</b>				<b>20</b>
<b>Totale</b>	<b>56</b>	<b>71</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>154</b>

- (1) 3 mesi/persona R&S settore AE02  
(2) Addetto al servizio protezione e prevenzione  
(3) 8 mesi/persona settore AE02  
(4) Membro del CS e responsabile di Settore  
(5) Membro CdD e assistente per la qualità  
(6) 2 mesi/persona settore AE05  
(7) 10 mesi/persona settore AE02  
(8) 10 mesi/persona settore AE02  
(9) Assistente per la qualità e per la contabilità tra INRiM e ACCREDIA  
(10) 6 mesi/persona settore AE02, 2 in AE05, 1 in ML04  
(11) Da aprile 2020, in servizio presso la Divisione ML

## **ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

### **Massa**

**Obiettivi.** Sviluppo di algoritmi e software per migliorare i metodi utilizzati per la realizzazione della scala di massa. (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

**Attività svolta.** 1) L'INRiM partecipa al progetto EMPIR 19RPT02 RealMass ed è responsabile del WP3 "Development of mathematical and software tools". 2) Modifica del software CCC (CALIBRATION CURVE COMPUTING) realizzato dall'INRiM, in collaborazione con AE05.

**Risultati ottenuti.** 1) È stato svolto un corso di formazione per la realizzazione della scala di massa rivolto agli istituti partecipanti al progetto, in modalità remota, con durata di 20 ore, suddiviso in 4 giorni. Ai partecipanti sono stati forniti fogli di calcolo preparati dall'INRiM per la realizzazione della scala di massa. 2) Pubblicazione su rivista ISI di un articolo sulla nuova versione del software CCC.

## Densità

**Obiettivi.** Collaborazione con l'INFN di Sesto Fiorentino per la caratterizzazione dei campioni di massa da utilizzare per un esperimento per la misura di G, progetto ERC MEGANTE (*MEasuring the Gravitational constant with Atom interferometry for Novel fundamental physics TESTs*).

**Attività svolta.** È stata eseguita la misura di densità di 24 campioni di rame per verificare l'omogeneità dei dischi utilizzati per la realizzazione delle masse utilizzate nell'esperimento. A causa di un guasto alla bilancia Mettler M\_one non è stato possibile analizzare la densità dei campioni di tungsteno.

**Risultati ottenuti.** I risultati hanno mostrato una buona omogeneità del rame, con massima differenza misurata di  $1 \times 10^{-5}$ .

## Portate di liquidi

**Obiettivi.** Sviluppo di nuovo metodo per la taratura di misuratori di portata, basato sulla pesata dinamica (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

**Attività svolta.** È stato studiato e validato un metodo innovativo per la taratura di misuratori di portata, particolarmente adatto per basse portate, anche inferiori a 10 L/h

**Risultati ottenuti.** Le incertezze di taratura sono state del 0,01%, un ordine di grandezza inferiori alle CMC attuali. Pubblicazione di un articolo su rivista ISI.

## Portate e Volumi di gas

**Obiettivi.** (*Focal Point "Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage", "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*) 1) Sviluppo degli impianti esistenti per miglioramento incertezze. 2) Taratura di campionatori d'aria: sviluppi teorici e strumentazione dedicata. 3) Analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata discreta.

**Attività Svolta.** 1) Sviluppo e validazione software acquisizione impianto MICROGas versione 2.0/versione 2.1 (inseguimento pistone) e impianto BELLGas versione 1.0, validazione in corso. 2) Impostazione calcoli incertezza per campionatori d'aria. 3) Sviluppo calcoli incertezza di integrazione discreta e pubblicazione conseguente.

**Risultati ottenuti.** 1) Software acquisizione impianto MICROGas versione 2.0 completato, validazione in corso; sviluppo versione 2.1 con inseguimento pistone e analisi incertezza impostato; software acquisizione impianto BELLGas versione 1.0 completato, validazione in corso. 2) Calcoli incertezza per campionatori d'aria impostati. 3) Calcoli incertezza di integrazione discreta in corso, pubblicazione in preparazione.

## Pressione

**Obiettivi.** 1) Sviluppo di un sistema innovativo per la misura della densità/pressione di un gas mediante scattering Rayleigh (RAY). 2) Sviluppo di un sistema ottico per la misura della pressione di un gas mediante rifrattometria (UINT) (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

**Attività svolta.** 1) Progettazione e avvio della realizzazione di una nuova versione del sistema RAY. 2) Analisi FEM delle deformazioni meccaniche di una cavità a multi-riflessione (ramo di misura interferometro UINT) dovute alla pressione di un gas. Progettazione ed avvio della realizzazione del campione ottico di pressione UINT.

**Risultati ottenuti.** 1) La progettazione del sistema RAY è stata finalizzata. Il sistema sarà dotato di finestre ottiche per l'ingresso della luce laser e l'acquisizione della luce diffusa, adatte ad operare fino ad una pressione pari a 2.5 MPa. Si è condotto uno studio di "stray-light analysis" per stimare l'effetto della luce spuria non imputabile al fenomeno dello scattering adottare le necessarie strategie per ridurre tale effetto sistematico. 2) Si è avviata la realizzazione di RAY, incluso il sistema di misura della temperatura, secondo quanto previsto dal progetto QuantumPascal (18SIB04). 3) L'effetto sistematico della deformazione meccanica dovuta alla pressione del gas nel ramo di misura a multi-riflessione del sistema UINT è stata valutato mediante simulazione FEM, stimando lo spostamento relativo della distanza dei due specchi quasi paralleli che formano la cavità, in funzione della pressione. Tale spostamento relativo è risultato pari a  $4.7 \cdot 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ . 4) Si è compiuto uno studio di ray-tracing per stimare il cammino ottico compiuto dal raggio laser nel ramo di misura dell'interferometro UINT, ottenendo il valore 3.3 m: la nuova cavità a multi-riflessione progettata, permetterà quindi di raddoppiare il cammino ottico percorso al suo interno. 5) Si è poi compiuto uno studio della propagazione gaussiana del raggio laser all'interno della cavità a multi-riflessione, al fine di stimare l'effetto sistematico dovuto ad un eventuale angolo di tilt tra gli specchi semi-paralleli e la base dell'interferometro. 6) Si è avviata la realizzazione del campione ottico di pressione UINT, incluso il sistema di controllo e misura della temperatura, come previsto dalla relativa attività del progetto 18SIB04.

## Vibrazioni

**Obiettivi.** (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*) 1) *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. 2) Sviluppo di un sistema di taratura per basse frequenze (sismica). 3) Definizione di modelli statistici per la taratura a campione di MEMS digitali. 4) Caratterizzazione di proprietà meccaniche di meta-materiali ad indice di rifrazione negativo e/o coefficiente di Poisson negativo.

**Attività svolta.** 1) È stato realizzato un sistema di misura e taratura per accelerometri digitali MEMS triassiali da  $0.1 \text{ ms}^{-2}$  a  $20 \text{ ms}^{-2}$  (da 0.5 Hz a 5 kHz) e per lo *shock* (da 20 g a 10 000 g, da 5 Hz a 20 kHz): tale sistema prevede l'utilizzo di opportuni supporti a 6 piani inclinati per la taratura simultanea su tre assi. Sono state effettuate tarature per confronto su 48 piani sperimentali (6 inclinazioni X 8 rotazioni) ed è stata fornita la riferibilità metrologica ai sensori digitali accelerometrici. 2) È stato realizzato un sistema di taratura, mediante nuova slitta orizzontale, per la taratura di sismometri e di accelerometri a bassissima frequenza (sotto 1 Hz fino a 0.01 Hz). Sono state effettuate prove preliminari di confronto tra sismometro tradizionale, accelerometro triassiale e MEMS digitale. 3) Sono state effettuate tarature su 100 MEMS digitali (nominalmente identici) per verificare la possibilità di definire gruppi di sotto campioni rappresentativi e sono stati applicati modelli statistici e probabilistici per verificare l'attribuzione della riferibilità a lotti estesi di sensori. 4) Nell'ambito del progetto PRIN2017 sono stati progettati e realizzati (tramite prototipazione 3D) 4 tipologie di metamateriali a struttura geometrica periodica e sono state misurate le prestazioni rifratto-negative e di assorbimento dell'onda di pressione tramite tubo di Kundt, tra 100 Hz e 5 kHz.

**Risultati ottenuti.** 1) È stata fornita la riferibilità metrologica ai sensori accelerometrici digitali MEMS e i risultati sono stati pubblicati su rivista ISI. 2) È stata determinata la risposta dinamica di un sismometro tradizionale tra 1 Hz e 0.01 Hz a varie ampiezze e sono stati effettuati confronti con accelerometri MEMS. 3) È stato effettuato un primo confronto bilaterale (con UNIVAQ) sulla riproducibilità della taratura di 25 MEMS digitali e sono stati individuati i livelli di fiducia di una taratura a campione (rispetto ad un lotto di 100 MEMS) su base "statistica". 4) Sono state misurate le prestazioni di 4 tipologie di metamateriale a struttura periodica e sono stati forniti i valori effettivi di assorbimento dell'onda di pressione. Parallelamente è stato sviluppato un modello fisico per le geometrie realizzate in grado di individuare le prestazioni meccaniche del metamateriale a partire dalle dimensioni geometriche e dal fattore di forma. Il modello fisico è stato validato dai risultati sperimentali.

## **Forza**

**Obiettivi.** 1) Studio del vettore forza (nelle sue varie componenti) per la definizione di nuove metodologie di misura. (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). 2) Analisi dei vari fattori di influenza della misura e nella realizzazione dei campioni di forza.

**Attività svolta.** Sviluppo metodologie innovative per la taratura di macchine di prova multicomponenti e per la taratura in continua e in dinamica delle macchine di prova materiali (EMPIR 18SIB08 ComTraForce "*Comprehensive traceability for force metrology services*").

**Risultati ottenuti.** Prima bozza di procedura di misura e taratura delle macchine di prova nel settore multicomponenti.

## **Durezza**

**Obiettivi.** 1) Ampliamento delle conoscenze dei fattori di influenza delle misure di durezza. 2) Nuovi metodi di misura per migliorare l'incertezza di misura.

**Attività svolta.** Continuazione dello sviluppo di algoritmi di analisi di immagini interferometriche per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante.

**Risultati ottenuti.** 1) Algoritmi sw per la misura della geometria dei penetratori di diamante Knoop. 2) Pubblicazione di un rapporto tecnico e di due lavori su riviste internazionali sulla misura della geometria dei penetratori di diamante Knoop.

## **Gravità**

**Obiettivi.** (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*) 1) Miglioramento dell'esperimento della caduta libera dei gravi alla base del gravimetro assoluto trasportabile IMGC-02. 2) Partecipazione alla realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero.

**Attività svolta.** 1) Progettazione di un nuovo sistema di lancio di IMGC-02. 2) Progettazione di un nuovo sistema interferometrico per IMGC-02. 3) Instaurata collaborazione con INGV (sezioni di Catania, Napoli e Roma) per la realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero.

**Risultati ottenuti.** 1) Articolo su rivista internazionale sulla progettazione dei nuovi sistemi di lancio ed interferometrici. 2) Presentazione PRIN "*Establishing the absolute gravity and physical height systems in Italy*".

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Massa**

*Obiettivi.* 1) Partecipazione a confronti internazionali. 2) Disseminazione.

*Attività svolta.* 1) Gestione e mantenimento della scala di massa 2) Organizzazione ILC 3) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Pubblicazione su Metrologia dei rapporti finali di due KC in cui l'INRiM ha svolto il ruolo di laboratorio di riferimento: GULFMET.M.M-K7 (KC of 5 kg, 100 g, 10 g, 5 g and 500 mg mass standards), e GULFMET.M.M-K4 (KC of 1 kg stainless steel mass standards). 2) Certificati di taratura N. 40 e relazioni di ILC N. 15. 3) Revisione procedure taratura campioni di massa e nuova procedura per bilance AWI.

### **Densità**

*Obiettivi.* 1) Coordinamento del confronto chiave EURAMET.M.D-K4.2020 sulla taratura di idrometri, nel campo da 600 kg/m<sup>3</sup> a 2000 kg/m<sup>3</sup> (9 istituti partecipanti). 2) Disseminazione.

*Attività svolta.* 1) È stato preparato il protocollo del confronto e sono state eseguite le tarature degli 8 idrometri utilizzati per il confronto. 2) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Conclusione delle misure da parte dei partecipanti. 2) Pubblicazione su Metrologia del rapporto finale del KC "EURAMET key comparison 1031 (EURAMET.M.D-K1.1) — solid density comparison". 3) Certificati di taratura N. 11.

### **Portate e volumi di liquidi**

*Obiettivi.* 1) Estensione del campo di misura a valori inferiori di 40 L/h. 2) Realizzazione di un nuovo sistema di taratura basato sul metodo della pesata dinamica. 3) Partecipazione a confronti internazionali. 4) Disseminazione.

*Attività svolta.* 1) È stato realizzato un nuovo apparato adatto per tarature con portate inferiori a 40 L/h. 2) È stato realizzato un metodo di taratura basato sulla pesata dinamica. 3) Partecipazione a confronto EURAMET n. 1157 (*Inter-comparison of 1000 L proving tank*). 4) Partecipazione alla revisione Guida EURAMET CG21. 5) Organizzazione ILC, anche con la partecipazione di laboratori stranieri. 6) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Possibilità di partecipare a confronti per portate inferiori a 40 L/h ed estendere il campo delle CMC. 2) Pubblicazione su Metrologia del rapporto finale del confronto pilotato dall'INRiM "EURAMET project 1395/EURAMET.M.FF-K4.1.2016: volume comparison at 20 L". 3) Pubblicazione guida EURAMET CG 21 "Guidelines on the calibration of standard capacity measures using the volumetric method". 4) Certificati di taratura N. 11 e relazioni di ILC N.3.

### **Portate e Volumi di gas**

*Obiettivi:* 1) Riduzione incertezze impianto MicroGas. 2) Automazione misure impianto BellGas. 3) Sviluppo sistema di controllo impianto MeGas per estendere le capacità di misura. 4) Attività preliminari per laboratorio di taratura per fughe calibrate. 5) Sviluppo softwares per impianti MICROGas e BELLGas; completamento progetto e inizio costruzione nuovo controllo per impianto MEGas; progetto e costruzione banco prova per fughe calibrate. 6) Supporto a NMISA per preparazione e svolgimento Confronto Internazionale AFRIMETS. 7) Attività di *peer visit* o accreditamento di Istituti metrologici stranieri.

*Attività Svolta.* 1) Iniziato sviluppo software a inseguimento pistone per impianto MicroGas. 2) Sviluppato software di acquisizione per impianto BellGas. 3) Aggiornato sistema di controllo impianto MeGas. 4) Acquistate fughe calibrate. 5) Softwares per impianti MicroGas e BellGas in sviluppo; aggiornato controllo per impianto MeGas. 6) Completato protocollo Confronto Internazionale AFRIMETS, misure in corso.

*Risultati ottenuti.* 1) Software impianto MICROGas 2.0 e BELLGas 1.0 funzionanti e in fase di collaudo; controllo impianto MEGas impostato. 2) Confronto con NMISA iniziato. 3) In preparazione nuovi ILC per LAT.

### **Pressione**

*Obiettivi.* 1) Disseminazione della grandezza Pressione. Gestione, mantenimento e sviluppo dei campioni nazionali di Pressione. 2) Gestione della qualità dei laboratori della grandezza Pressione. 3) Validazione del software utilizzato per il calcolo della pressione con bilance di pressione in mezzo gassoso e liquido. 4) Ruolo NMI in ambito internazionale.

*Attività svolta.* 1) Si sono svolte le attività legate alla disseminazione della grandezza pressione tramite esecuzione di tarature sia in mezzo gassoso che liquido; sono stati organizzati ed eseguiti ILC. Le attività di ripristino del campione di pressione tra 5x10<sup>-4</sup> Pa e 1000 Pa sono state temporaneamente interrotte per la sopraggiunta necessità di lavori di bonifica e ristrutturazione del laboratorio, il cui termine è attualmente previsto per fine febbraio 2021. 2) Si è compiuto un aggiornamento delle procedure di misura. 3) È stato realizzato un software indipendente per il calcolo della pressione generata e misurata dalle bilance di pressione. 4) Partecipazione a riunioni del CCM WG PV e attività di *peer review* presso altri NMI.

*Risultati ottenuti.* 1) Emissione di 30 certificati di taratura e 1 relazione ILC (fatturato di circa 35 k€); 2) ILC svolti e/o avviati: i) ILC-M-P02-2019, relativo negativo da 0 a -100 kPa (avviato nel 2019, svolto nel 2020, in conclusione a febbraio/marzo 2021 (14 centri partecipanti); ii) ILC-M-P01-2020 relativo da 0 a 7 MPa gas,

avviato a gennaio 2020 e tuttora in corso (17 centri partecipanti); iii) ILC-M-P02-2020 relativo da 0 a -15 kPa e da 0 a +15 kPa, avviato a gennaio 2020, concluso a gennaio 2021 (2 centri partecipanti); iv) ILC-M-P03-2020 relativo liquido da 0 a 100 MPa, avviato a dicembre 2020 ed attualmente in svolgimento (7 centri partecipanti). 3) Revisione/miglioramento di quattro procedure di misura, in accordo con le raccomandazioni ricevute in occasione della *peer review* di dicembre 2019. 4) Implementazione del software indipendente: consente di controllare e validare i calcoli effettuati mediante il software normalmente utilizzato, previsto dalle procedure di misura. 5) Partecipazione a riunione CCM WG PV dicembre 2019 e attività di *peer review* per la grandezza pressione (istituto IPQ).

### **Vibrazioni**

*Obiettivi.* Riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e definizione della sensibilità "digitalizzata", sviluppo di sistema di taratura a eccitazione monoassiale per 3 assi simultanei e definizione di metodologie per taratura a campionamento statistico, sulla base delle indicazioni del documento "*Strategy 2019 to 2029*" del CCAUV del BIPM.

*Attività svolta.* 1) Definizione di una procedura per la taratura di accelerometri MEMS triassiali e calibrazione di 100 MEMS. 2) Confronto bilaterale sulla metodologia di taratura (a bassa frequenza) con UNIVAQ su 25 accelerometri. 3) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Verifica della ripetibilità e della riproducibilità della misura e riferibilità a SI. 2) Fatturato di circa 30 k€ dell'attività Conto Terzi.

### **Forza**

*Obiettivi.* 1) Disseminazione della grandezza Forza. Gestione, mantenimento e sviluppo dei campioni nazionali di Forza. 2) Gestione della qualità dei laboratori della grandezza Forza. 3) Ruolo NMI in ambito internazionale.

*Attività svolta.* 1) Miglioramento della disseminazione delle misure di forza multicomponenti. 2) Sviluppo della procedura di auto-taratura delle macchine campione di forza 3) Effettuazione dell'auto-taratura della macchina campione di forza a pesi diretti da 1 MN. 4) Organizzazione di ILC. 5) Partecipazione a confronti internazionali. 6) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Effettuazione delle misure per il confronto KC CCM.F-K23. 2) Riparazione macchina campione di forza da 10 MN. 3) Report di ILC. 4) Pubblicazioni di un rapporto tecnico e di un lavoro su rivista internazionale sull'auto-taratura della macchina campione di forza da 1 MN. 5) Partecipazione alle riunioni ISO. 6) Fatturato di circa 90 k€ dell'attività Conto Terzi.

### **Durezza**

*Obiettivi.* 1) Disseminazione delle scale nazionali di Durezza. Gestione, mantenimento e sviluppo dei campioni nazionali di Durezza. 2) Gestione della qualità del laboratorio della grandezza Durezza. 3) Ruolo NMI in ambito internazionale.

*Attività svolta.* 1) Miglioramento delle CMC attuali per la taratura dei penetratori di diamante. 2) Valutazione del sistema di qualità del Laboratorio da parte di un esperto del CENAM. 3) Partecipazione come pilota a confronti internazionali. 4) Attività di taratura.

*Risultati ottenuti.* 1) Miglioramento CMC dei penetratori di diamante Vickers. 2) Nuove CMC dei penetratori di diamante Knoop. 3) conferma gestione in qualità delle attività del laboratorio. 4) Tre pubblicazioni su riviste internazionali dei risultati di confronti internazionali e studi pilota. 5) Partecipazione alle riunioni ISO. 6) Fatturato di circa 20 k€ dell'attività Conto Terzi.

### **Gravità**

*Obiettivi.* 1) Assicurazione della riferibilità delle misure assolute di accelerazione di gravità locale al SI. Gestione, mantenimento e sviluppo dello strumento primario per la misura di accelerazione di gravità locale (gravimetro assoluto trasportabile). 2) Gestione della qualità del laboratorio della grandezza Durezza. 3) Ruolo NMI in ambito internazionale.

*Attività svolta.* 1) Valutazione del sistema di qualità del Laboratorio da parte di un esperto del CENAM.

*Risultati ottenuti.* 1) Miglioramento delle CMC attuali. 2) conferma gestione in qualità delle attività del laboratorio. 3) Pubblicazioni su atti di convegni e su riviste internazionali.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Massa**

*Obiettivi.* 1) Organizzazione di corsi per la taratura di campioni di massa rivolti ai laboratori ACCREDIA e attività di consulenza. 2) Partecipazione al Tavolo di lavoro "Strumenti per pesare" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. 3) Attività di supporto per ACCREDIA.

*Attività svolta.* 1) Sono state svolte attività di consulenza per laboratori ACCREDIA già accreditati o in fase di accreditamento. 2) Si è partecipato alle riunioni organizzate dal MISE per la preparazione delle schede

tecniche di verifica periodica. 3) Sono state svolte visite ispettive a laboratori di taratura per conto di ACCREDIA.

*Risultati ottenuti.* 1) Attività conto terzi. 2) Bozza schede tecniche per applicazione DM93/2017.

### **Portate di Liquidi**

*Obiettivi.* 1) Partecipazione al Tavolo di lavoro "Sistemi misurazione liquidi diversi dall'acqua e gas metano per autotrazione" e al Tavolo di lavoro "Utility Meter" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. 2) Attività di supporto per ACCREDIA.

*Attività svolta.* 1) Si è partecipato alle riunioni organizzate dal MISE per la preparazione delle schede tecniche di verifica periodica. 2) Sono state svolte visite ispettive a laboratori di taratura per conto di ACCREDIA.

*Risultati ottenuti.* 1) Bozza schede tecniche per applicazione DM93/2017. 2) Attività conto terzi.

### **Portate e Volumi di gas**

*Obiettivi.* 1) Consulenza a ditte per sviluppo di laboratori per portate gas e/o anemometria. 2) Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri (COFRAC).

*Attività Svolta.* 1) Riunioni preliminari con ditta ASIT. 2) Esami documentali e visite per Laboratori ACCREDIA e COFRAC

*Risultati ottenuti.* Attività per ACCREDIA: 1 nuovo Accreditamento, 1 Estensione, 6 Sorveglianze, 3 transizioni; COFRAC: 1 Sorveglianza, 1 esame documentale.

### **Vibrazioni**

*Obiettivi.* Sensibilizzazione al ruolo della metrologia per la sensoristica digitale (MEMS) in applicazioni di monitoraggio e controllo e in automotive.

*Attività svolta.* 1) Studio di fattibilità del sistema di taratura triassiali e campionamento statistico per il trasferimento. 2) Definizione procedura per caratterizzazione metrologica IMU per automotive.

*Risultati ottenuti.* 1) Divulgazione degli aspetti innovativi della sensoristica per vibrazioni basata su MEMS/NEMS digitali e taratura a bassissima frequenza (0.01 Hz – 1 Hz) e taratura su larga scala. 2) Divulgazione sulla caratterizzazione metrologica di IMU in automotive. 3) Docenza c/o Politecnico di Torino nel corso di "Illuminotecnica e controllo del rumore", per un totale di 35 ore.

### **Forza, Durezza, Gravimetria**

*Obiettivi.* 1) Supporto all'industria nazionale. 2) Supporto agli Enti di Accreditamento italiani ed esteri. 3) Supporto agli enti normatori. 4) Docenze per Enti privati e Università.

*Attività Svolta.* 1) Contratti cessione di know-how. 2) Docenze Universitarie. 3) Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri (ISRAC- Israele, EIAC-Emirati Arabi). 4) Attività di supporto allo sviluppo delle norme di settore in ambito ISO TC164.

*Risultati ottenuti.* 1) Contratto cessione di know-how per l'utilizzazione di un trasduttore di forza multicomponente. 2) Docenza c/o Politecnico di Torino al Corso di Laurea di ingegneria Meccanica e dell'Autoveicolo su "Statistica Sperimentale e Misure Meccaniche" (78 + 54 ore) 3) Ispezioni tecniche per enti di accreditamento: ACCREDIA-Italia, EIAC-Emirati Arabi. 4) Partecipazione alle riunioni ISO TC164.

<b>Settore AE02 – Metrologia della lunghezza</b>
Responsabile: Marco Pisani

**Personale impegnato (Mesi/Persona)**

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Emanuele Audrito	5	5,5			0,5	11
Milena Astrua <sup>(1)</sup>	3	3	2			8
Alessandro Balsamo	4	1	2	3	1	11
Roberto Bellotti <sup>(2)</sup>	3	7			1	11
Marco Bisi <sup>(3)</sup>	5	5				10
Davide Corona <sup>(4)</sup>	4	4			1	9
Mauro Franco	2	9				11
Giovanni Mana	8			3		11
Enrico Massa	9			2		11
Aline Piccato <sup>(5)</sup>	5				5	10
Gian Bartolo Picotto	5	3	2	1		11
Marco Pisani <sup>(6)</sup>	5	1	2	1	2	11
Marco Pometto <sup>(7)</sup>	1	5			2	8
Carlo Sasso	9			2		11
Massimo Zucco <sup>(9)</sup>	1					1
Marco Santiano <sup>(10)</sup>	2	2	2			6
Domenico Mari <sup>(11)</sup>	3					3
<b>Personale TD</b>						
Andrea Egidi (dal 15/12)	0,5					0,5
<i>Tot</i>	<b>74,5</b>	<b>47</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>156,5</b>
<b>Personale in formazione</b>						
Andrea Egidi (PhD)	10,5					10,5
Luigi Ribotta (PhD)	11					11
Bangaru Thirumalai (PhD)	5					5
Abdel Hamed	2					2
Othman Laouibi	3					3
Roberto Spada	2					2
Simone Torino	1					1
Edoardo Filippelli	3					3
Daniel Haures	3					3
<b>Personale associato</b>						
Raffaello Pegna	1					1
<i>Tot</i>	<b>41,5</b>					<b>41,5</b>
<b>Totale</b>	<b>116</b>	<b>47</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>198</b>

<sup>(1)</sup> 3 mesi/persona settore AE01; addetto al servizio protezione e prevenzione.

<sup>(2)</sup> Gestione software conto terzi

<sup>(3)</sup> 1 mese/persona nel settore AE01

<sup>(4)</sup> 2 mesi/persona nel settore AE03.

<sup>(5)</sup> 1 mese/persona nel settore AE01

<sup>(6)</sup> Membro del CdD e responsabile di Settore

<sup>(7)</sup> Gestione edificio 8; in quiescenza da settembre 2020

<sup>(8)</sup> Aspettativa retribuita per motivi di studio dal 1° ottobre 2019

<sup>(9)</sup> Affiliazione principale divisione ML, settore ML04

<sup>(10)</sup> 2 mesi/persona nel settore AE01, 2 mesi/persona nel settore AE05, 1 mese/persona nel settore ML04

<sup>(11)</sup> 8 mesi/persona nel settore AE01.

## Ricerca e Sviluppo

### Interferometria X/ottica (COXI)

*Obiettivi.* (Focal Point Improving the quality and impact of fundamental scientific research) Sviluppare competenze, tecnologie e infrastrutture per: i) metrologia dimensionale e angolare alla scala atomica mediante interferometria ottica e a raggi X; ii) analisi e interpretazione dati e decisioni ottime; iii) misura di costanti fondamentali; iv) realizzazione del kilogrammo.

*Attività svolta.* 1) Supervisione della realizzazione di un laboratorio per l'interferometria X/ottica e progettazione di due masse inerziali; identificazione e acquisto delle apparecchiature necessarie. 2) Studio sperimentale della deformazione per gravità di una sfera in silicio (realizzazione del kilogrammo). 3) Studio della deformazione indotta da un film di Cu su di un interferometro raggi X. 4) Studi di fattibilità per: misurazione di "big G", interferometria a neutroni con cristalli separati, *red-shift* gravitazionale in laboratorio. 5) Studi per identificare e gestire *outlier* in "laboratory comparisons". 6) Sviluppo di metodi analitici e numerici l'interferometria della missione LISA.

*Risultati ottenuti.* 1) pubblicazioni scientifiche: a) deformazione per gravità di una sfera silicio monocristallino che realizza il kilogrammo; b) misura dello stress superficiale indotto da un film di Cu su silicio; c) review del contributo dell'interferometria X al nuovo SI. 2) Proposta sperimentale (realizzazione c/o INRiM, allestimento c/o linea S18 di ILL. 3) Soluzione dell'*analytical challenge* proposto da *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 4) Rapporto tecnico per il contratto TAS-I.

### Nanometrologia e metrologia delle superfici

*Obiettivi.* (Focal Point Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies)<sup>1)</sup> Metodi di misura AFM di nanoparticelle (NP) quasi-sferiche e non sferiche (bipiramidi, piattine, cubi; collaborazione con UniTo), e di nanostrutture di origine vegetale (collaborazione con CNR-IPSP) come campioni di riferimento di forma e dimensioni alla nanoscala. 2) Confronto metodi di misura a contatto e non per la morfologia e le proprietà funzionali di superfici (collaborazione con CRF-FCA, progetto EMPIR Met4Wind). 3) Realizzazione di un setup per la taratura dinamica di tastatori a contatto (progetto EMPIR ProbeTrace). 4) *Setup* capacitivo differenziale.

*Attività svolta.* 1) Lo sviluppo dei metodi di misura AFM di dimensioni critiche di nanoparticelle (NPs) si è consolidato attraverso lo studio dell'interazione punta-campione-substrato per le forme sferiche e cilindriche (virus TMV, NPs quasi sferiche) e delle metodologie per la correzione degli effetti della forma finita della punta AFM con le NPs a geometria complessa (bipiramidi e piattine). Coordinamento e contributi a proposte di progetti di ricerca (Nanovegens, fondazione CRT e FIRB e SyncNanoBio, H2020). 2) Si è contribuito come WP leader alla stesura del progetto EMPIR TracOptic (partecipa anche CRF-FCA). Si è acquisito un nuovo tastatore ottico-interferometrico per il confronto di metodi ottici e a contatto sulla morfologia di superfici funzionali (progetto Met4Wind). 3) ed un trasduttore di spostamento per la taratura dinamica dei tastatori a contatto (progetto Probe Trace, WP leader). Testati i nuovi tastatori/trasduttori e sviluppati i *tool software* di controllo per le misure statiche e dinamiche. 4) Rinnovato il *setup* opto-meccanico per la caratterizzazione di un nuovo sistema di misura capacitivo e differenziale di microspostamenti e piccole rotazioni (assetto) di un elemento mobile.

*Risultati ottenuti.* 1) Le correzioni ottenute attraverso i modelli analitici delle interazioni sopracitate determinano un consistente accordo tra le misure AFM ed i valori di riferimento del diametro medio delle NPs quasi sferiche e cilindriche, e consolidano i modelli per le NPs a geometria complessa (articolo su rivista e presentazione congresso SIF). 2) Progetto TracOptic. 3) *Softool* per la simulazione di profili virtuali a multi-lunghezza d'onda. 4) La misura differenziale di micro-spostamenti e piccole rotazioni compensa parte degli errori geometrici e degli effetti di bordo della misura capacitiva singola (articolo su rivista).

### Metrologia dimensionale, a coordinate e lunghe distanze

*Obiettivi.* 1) sviluppo di metodi per la valutazione dell'incertezza applicabile nell'industrial (progetto EUCoM, coordinamento) e quelle legate alle applicazioni di grandi dimensioni (progetto LaVA), in particolare nel campo delle macchine utensili di grandi dimensioni e dell'interferometria su lunghe distanze (>10 m) con incertezze <10<sup>-6</sup>. 2) Realizzazione tecniche e strumenti di termometria acustica per migliorare la conoscenza della velocità del suono (progetto Geometre, con AE04) e per la realizzazione di termometri da campo (con AE05). 3) Implementazione di misure di forma non a contatto su geometrie complesse (progetto Met4Wind).

*Attività svolta.* 1) EUCoM: coordinamento generale del progetto incluse le emergenze ed eccezioni da COVID-19. LaVA: progettazione di uno strumento a coordinate non a contatto. 2) Realizzazione in camera anecoica di un nuovo set-up sperimentale per la misura della velocità del suono in aria basato sulla differenza di fase fra il segnale generato da un altoparlante in movimento controllato interferometricamente e il segnale ricevuto. Le misure sono state condotte in diverse condizioni dei parametri ambientali per confrontare i risultati con i modelli teorici e con le misure ottenute indipendentemente con un risonatore acustico (AE04).

*Risultati ottenuti.* 1) EUCoM: Superamento dell'emergenza COVID-19 soprattutto nella campagna di

validazione sperimentale; meeting di progetto (più riunioni satelliti); inoltre del rapporto periodico a Euramet. LaVA: progetto di tre possibili soluzioni per la realizzazione dello strumento. 2) Effettuate misure per la determinazione della velocità del suono con incertezza 100 ppm. Realizzato termometro acustico per ambienti chiusi, distanze fino a 10 m e accuratezza 0,1 °C (progetto LaVA). Realizzato primo prototipo di termometro acustico trasportabile.

### **Metrologia per lo spazio**

*Obiettivi.* (Focal Point "Developing technology for space applications and research) Migliorare le potenzialità di attrazione di fondi da parte delle agenzie spaziali e delle industrie aerospaziali. Proseguire le collaborazioni in atto con ESA, le grandi industrie (Thales, STI) e le PMI italiane.

*Attività svolta e risultati.* 1) Realizzazione di circuiti elettronici, set-up di test e attività sperimentale presso Thales per il contratto ESA PoC-NGGM (interferometro con risoluzione < 1 nm e potenze ottiche < 1 pW). Conclusione della campagna di misura; 2) Proseguimento attività su contratto ESA LIG-A con realizzazione di prototipo di interferometro miniaturizzato e integrazione di accelerometro ISA con interferometro. 3) Realizzazione del set-up sperimentale e campagna di misure per la caratterizzazione dei 3 accelerometri di volo della missione ESA JUICE. 4) Progetto regionale EICAS-ASTRA: negoziazione dei dettagli del contratto; progettazione di massima della stazione di taratura per *star-tracker*. 5) Conclusione contratto CCN ESA-COATS. 6) Risposta a Call ARTES-ESA per sviluppo sensore satelliti telecom nuova generazione. In attesa di riscontro. 7) Attivato contratto regionale VIR per la realizzazione di proiettore di costellazioni per caratterizzazione *star-tracker*.

### **Realizzazione del kilogrammo secondo il nuovo SI** (in collaborazione con AE01 e AE03)

*Obiettivi.* Progetto e realizzazione di un prototipo di bilancia elettrostatica alla scala dei milligrammi con incertezza <10<sup>-4</sup>. Il progetto prevede l'acquisto di una bilancia, di un ponte capacitivo, e di un calibratore oltre alla realizzazione di meccanica, elettro-ottica e *software ad hoc*.

*Attività svolta e risultati.* Selezione dei componenti critici per la realizzazione della bilancia e procedure di acquisto avviate per tre degli elementi chiave del progetto: microbilancia, multimetro e ponte capacitivo.

### **Prototipazione**

*Obiettivi.* Incrementare le capacità di progettazione e prototipazione del settore attraverso l'integrazione della capacità progettuale con software per il disegno ottico (Zemax) con i *software* per modellizzazione meccanica già disponibili (Comsol, Ansys, Solidworks).

*Attività svolta e risultati.* Prototipazione con stampante 3D, modellizzazione sistema ottico per la misura della pressione per via interferometrica. Partecipazione a 2 corsi di formazione per il software Comsol Multiphysics. Acquisto di una licenza perpetua per Comsol Multiphysics, Acquisto di licenza annuale di Zemax.

## **Ruolo NMI**

### **Nanometrologia e metrologia delle superfici**

*Obiettivi.* 1) Nuovi campioni 3D alla nanoscala. 2) Nuova CMC per nanoparticelle quasi-sferiche. 3) Estensione delle capacità di misura di campioni e superfici funzionali (metodo areale). 4) Partecipazione a confronti (confronto CIRP). 5) ILC su campioni di rugosità. 6) Stazioni di misura e attività di taratura.

*Attività svolta.* 1) Preparazione di nuovi campioni posticipata per il lockdown. 2) Sottomessa CMC sulla misura AFM del diametro medio di nanoparticelle quasi sferiche da 5 nm a 500 nm, supportata dal confronto APMP.L-S5. 3, 4) Attività posticipate causa lockdown. Confronto CIRP posticipato. Pubblicato il draftB del confronto EURAMET.L-S26 coordinato dal PTB, con possibile estensione fino ad 1 mm del campo di misura ns CMC sui campioni a gradino. 5) Coordinato ILC sui campioni di rugosità a cui hanno partecipato 4 Laboratori di Taratura. 6) Regolare attività di taratura (16 Certificati) e mantenimento in qualità con aggiornamento procedure e visite ispettive interne delle stazioni di misura.

*Risultati ottenuti.* 2) Presentazione di nuova CMC su nanoparticelle (approvata da EURAMET, in attesa revisione da altre RMO). 5) Rapporti (4) confronto ILC sui campioni di rugosità.

### **Metrologia dimensionale e metrologia a coordinate**

*Obiettivi.* 1) Partecipazione attiva nelle organizzazioni metrologiche europee ed internazionali e in network internazionali. 2) Partecipazione e coordinamento *Key Comparison* 3) Ammodernamento del campione del metro, svecchiamento, ottimizzazione ed estensione/miglioramento delle capacità di misura delle stazioni. 4) attività di taratura regolare ed eccezionale, revisione di CMC.

*Attività svolta.* 1) Persona di contatto nel TC-L di EURAMET; delegato nazionale nel CCL, presidenza del CCL-WG MRA. 2) Analisi dati per il *linking* tra i due gruppi paralleli del confronto chiave K4 sui campioni diametrali,

coordinato da INRiM (DraftB\_rev1). I risultati dei confronti K4 e CCL-K4 (coord. NIST) confermano la riduzione a 70 nm dell'incertezza nella misura del diametro di sfere di precisione, che sarà oggetto di una proposta di revisione ns CMC. Pubblicato il rapporto finale del confronto chiave K5 sui calibri a passi che per INRiM conferma l'estensione del campo misura a 620 mm e la riduzione a 150 nm del termine costante dell'incertezza estesa di misura, oggetto della proposta di revisione della ns CMC. Partecipazione al confronto EURAMET.L-K1.2019 misure INRiM. Campagna di misure per il confronto supplementare EURAMET.L-S30 sulle misure di rotondità con tecniche di separazione degli errori. - Organizzazione di un confronto interlaboratorio bilaterale sulle misure di rotondità. Coordinamento confronto EURAMET: L-K3.2019 su campioni angolari (primo confronto internazionale su encoder ottici); selezione e acquisto di un encoder angolare per il confronto. 3) Collaudo di sorgente laser Nd-YAG (I2) a 532 nm per l'interferometro dei blocchetti corti. Verifiche con esiti positivi di adesione e misura blocchetti corti su dischi ultrapiatti a finitura ottica in carburo di silicio per nuovi piatti per la stazione di misura. Aggiornamenti software/hardware con (nuovo termometro e nuova testa laser) nella stazione di misura dei campioni diametrali e lineari; Sostituito l'igrometro della stazione di misura dei parametri ambientali della galleria (edificio 8). 4) Taratura degli accelerometri di volo per la missione ESA JUICE. Taratura dimensionale del pistone e della corsa del pistone all'impianto campione MeGas (AE01-Campione nazionale portate di gas).

*Risultati ottenuti.* 1) Presidenza della riunione CCL-WG MRA, prima virtuale in epoca COVID-19. 2) Draft B rev1 dello EURAMET.L-K4.2015; Pubblicazione su *Metrologia* del rapporto finale del KC EURAMET.L-K5.2015 su *Metrologia Technical Supplement*; INRiM Measurement report, EURAMET.L-K1. 3) Revisione procedura per la stazione di misura blocchetti corti; RT-2020-10. Analisi delle incertezze associate al campione nazionale di portate di gas dell'INRiM denominato MeGas. Attività sul calibro a passi sospesa a causa del COVID-19; attività su blocchetti lunghi ripresa, ora prossimi alla riapertura del servizio. Nuove CMC sui campioni diametrali filettati pubblicate sul KCDB.

### **Trasferimento tecnologico (Knowledge Transfer)**

*Obiettivi.* 1) Massimizzare l'impatto tecnologico e scientifico dei progetti e delle attività in corso. 2) Affrontare le esigenze di ricerca degli stakeholder scientifici e industriali. 3) Erogare attività di formazione. 4) Erogare attività di divulgazione scientifica. 5) Partecipazione attiva nei comitati normatori.

*Attività svolta.* 1,2) Associazione di settore CMM Club Italia: presidenza, corsi gratuiti online, numero 27 della rivista *Probing*, quattro numeri (66-69) della *newsletter Probing Flash*, seminario InTeRSeC 39 (255 partecipanti), revisione del sito; Attività di consulenza (società private, ministero, camere di commercio). 3) Corsi di metrologia per insegnanti; Corso per ispettori Accredia, Corsi per studenti di dottorato (anno 2019-2020); Workshop UniTo dip. matematica (2019-2020); Attività di tutoraggio studenti universitari e scuole superiori. 4) Conferenze di divulgazione sul nuovo SI; Referaggio articoli su rivista internazionale; Vicedirezione della rivista scientifica *Metrologia*. 5) Attività di normazione ISO (ISO/TC213, WG4 (Coordinamento), WG10, WG17, AG1, responsabilità di progetto revisione ISO 1); UNI (presidenza UNI/CT047, coordinamento UNI/CT047/GL1). Supporto all'accreditamento (analisi procedure e visite ispettive).

<b>Settore AE3 – Misure elettriche ed elettroniche</b>
Responsabile: Pier Paolo Capra

#### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Pier Paolo Capra <sup>(1)</sup>	3,3	2,2	2,2	1,1	2,2	11
Flavio Galliana	6,6	2,2	2,2			11
Paolo Roccato <sup>(2)</sup>	3,3	2,2	3,8	0,6	1,1	11
Iulian Mihai	11					11
Claudio Francese	4	3,5	3,5			11
Roberto Cerri	2,2	2,2	6,6			11
Fulvio Francone	2,2	1,1	7,7			11
Luca Roncaglione <sup>(3)</sup>	1,1	2,2	5,5		2,2	11
Marco Lanzillotti <sup>(4)</sup>	1,1	2,2	5,5		2,2	11
Luciano Bellavia	4,4	1,1	5,3	0,2		11
Davide Corona <sup>(5)</sup>	2					2
<b>Personale TD</b>						
Gianluca Virano <sup>(6)</sup>	2,2	1,1	5,5	0,2		9
<i>Tot</i>	41,4	22	47,8	2,1	7,7	121
<b>Personale in formazione</b>						
Stefano Caria	0,5					0,5
<b>Personale associato</b>						
Dean Jarrett (NIST)	1,1					1,1
Donatella Duraccio (CNR)	2,2					2,2
<i>Tot</i>	3,8					3,8
<b>Totale</b>	<b>45,2</b>	<b>22</b>	<b>47,8</b>	<b>2,1</b>	<b>7,7</b>	<b>124,8</b>

(1) Responsabile di settore

(2) Addetto al servizio protezione e prevenzione

(3) Gestione commesse congiunte conto terzi per la metrologia elettrica

(4) Gestione commesse congiunte conto terzi per la metrologia elettrica

(5) 9 mesi/persona nel settore AE02

(6) Presa di servizio a marzo 2020

## **ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

### **Misure di resistenza elettrica**

**Obiettivi.** 1) Miglioramento delle capacità metrologiche nelle misure di resistenza, con particolare riferimento agli alti valori. (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*) 2) Studio e sperimentazione su materiali polimerici funzionalizzati – prime misure elettriche di caratterizzazione. (*Focal Point "Supporting the quality of life and health"*).

**Attività svolta.** 1) È stata effettuata la caratterizzazione di un ponte MI 6600 per misure di resistenze di alto valore e il confronto con un ponte realizzato presso i laboratori dell'INRiM. I primi risultati mostrano un accordo limitato al valore di 100 T, conseguentemente, nel corso dell'anno, sono state progettate delle modifiche per il suo miglioramento. Le attività innovative effettuate sul ponte sono realizzate in collaborazione con la MI anche in virtù di un contratto industriale attualmente attivo. 2) La collaborazione con l'istituto IMAMOTER (STEMS dal 2020) del CNR si concretizza, nel corso del 2020, con la caratterizzazione elettrica di materiali polimerici funzionalizzati con la cellulosa. La funzionalizzazione ha lo scopo di migliorare sia le proprietà meccaniche sia quelle elettriche, in particolare queste ultime consentiranno ulteriori impieghi in ambito industriale, in quello delle costruzioni e automotive.

**Risultati ottenuti.** 1) Definizione dei limiti di funzionamento del ponte commerciale utilizzato per i test e caratterizzazione metrologica. 2) Caratterizzazione preliminare delle prime miscele polimeriche, risultati in fase di pubblicazione.

### **Campione nazionale di tensione continua**

**Obiettivi.** Realizzazione di un nuovo nano-divisore di tensione continua per applicazioni metrologiche. (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

*Attività svolta.* È stato completato il primo prototipo di nano-divisore per tensioni continue. Lo strumento consente di generare tensioni continue riferibili grazie a un principio di funzionamento auto-tarabile. Il divisore dispone di un programma di gestione per l'uso completamente automatico. Si procederà con la completa caratterizzazione metrologica per confronto con divisori campione verificati in sede di confronto internazionale.

*Risultati ottenuti.* Prototipo di uno strumento metrologico funzionante, dotato di software di controllo.

### **Alte tensioni e forti correnti**

*Obiettivi.* Standardizzazione e riferibilità nel campo delle alte tensioni composite e combinate. (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

*Attività svolta.* Verranno analizzati i metodi di prova e l'incertezza associata nel campo delle alte tensioni con forme d'onda composite e combinate, con particolare riguardo alla garanzia di riferibilità ed alla standardizzazione (progetto EMPIR HV-com2).

*Risultati ottenuti.* Attività iniziale del progetto legata ad una tesi di laurea di II livello in ingegneria elettrica.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Area caratterizzazione e taratura di strumentazione multifunzione**

*Obiettivi.* Miglioramento delle capacità metrologiche del laboratorio e ampliamento dell'offerta di taratura nel campo della strumentazione multifunzione.

*Attività svolta.* 1) Revisione dei programmi automatici per le verifiche e la taratura automatica della strumentazione. 2) Avvio progettazione di una nuova stazione di misura per la taratura di multimetri di nuova concezione e recentemente resi disponibili commercialmente.

*Risultati ottenuti.* Nuovi programmi per la gestione automatica dei programmi utilizzati per la taratura della strumentazione. I programmi contengono delle soluzioni che consentono un più semplice recepimento delle indicazioni in materia di qualità.

### **Campione nazionale di tensione continua**

*Obiettivi.* Sperimentazione di unità multifunzione per la riferibilità elettrica di tensione continua e resistenza.

*Attività svolta.* Sono proseguiti i lavori di ingegnerizzazione del prototipo di campione viaggiatore multifunzione in collaborazione con la MI (Canada). I circuiti sperimentali, originariamente realizzati in INRiM sono stati riprogettati per la conformità alle normative internazionali per la strumentazione elettrica. L'INRiM ha seguito a distanza tutte le fasi di riprogettazione e verifica delle specifiche dei riferimenti elettrici.

*Risultati ottenuti.* Sono stati preparati i primi prototipi commerciali completi e inviati ai laboratori che si occupano dei test preliminari.

### **Taratura di strumentazione per la misura di grandezze alternate**

*Obiettivi.* Revisione completa delle procedure tecniche impiegate per la taratura della strumentazione di misura di grandezze elettriche alternate.

*Attività svolta.* 1) Metodi, procedure tecniche e valutazione delle incertezze di misura sono state oggetto di una revisione completa e approfondita per tener conto di tutti i requisiti imposti dal sistema di qualità. 2) È stato progettato un prototipo di un sistema automatico per il controllo del trasferitore FLUKE 792, oggetto commerciale attualmente completamente manuale.

*Risultati ottenuti.* 1) Ripristino completo dell'operatività del laboratorio di taratura degli strumenti di misura delle grandezze alternate. 2) Progetto per la realizzazione del primo prototipo di trasferitore FLUKE 792 automatico.

### **CMC e ILC**

*Obiettivi.* Mantenimento e miglioramento delle capacità metrologiche elettriche e dei servizi offerti ai centri LAT.

*Attività svolta.* In previsione della partecipazione dei laboratori INRiM a due cicli di confronto internazionali (BIPM.EM-K13 a, b) sono state effettuate delle caratterizzazioni approfondite su tutti i campioni che saranno utilizzati nel confronto. Sono state adottate tre strade di confronto: i) verifica dei rapporti tra resistori inviati al BIPM, ii) Misure con reti Hamon commerciali e auto-costruite, iii) Misure dirette utilizzando un ponte a comparatore di corrente DCC. È stata studiata ed attuata una procedura specifica per tutti i confronti e i risultati delle misure rivelano un buon accordo tra i metodi diversi e perfettamente in accordo con i livelli di incertezza attualmente dichiarati.

*Risultati ottenuti.* Le procedure che consentono la gestione della riferibilità dell'unità di resistenza elettrica dei campioni primari sono state verificate e le incertezze dichiarate risultano adeguatamente espresse.

### **Alte tensioni e forti correnti**

*Obiettivi.* Incremento delle capacità di taratura e prova nel campo delle alte tensioni e forti correnti

*Attività svolta.* Ricerche di mercato per la sostituzione del trasformatore per tarature e prove nel campo delle forti correnti transitorie

*Risultati ottenuti.* Indicazione di massima delle specifiche e dei costi per la realizzazione del trasformatore

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Alte tensioni e forti correnti**

*Obiettivi.* 1) Supporto tecnico scientifico alle aziende nello sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie. 2) Realizzazione di una *facility* per prove termiche di lunga durata.

*Attività svolta.* 1) Continua implementazione delle strutture LATFC ed inizio della riprogettazione delle facilities per massimizzare la flessibilità e la capacità di adattamento ad iniziative di ricerca industriale, a carattere nazionale ed internazionale, rivolte alle prove su nuovi dispositivi e prototipi innovativi. 2) Sviluppo del software preliminare (*framework*) per la gestione delle prove termiche di lunga durata senza necessità del presidio continuo e garantendo l'agibilità degli spazi per le usuali attività di prova conto terzi mantenendo condizioni di sicurezza e riservatezza.

*Risultati ottenuti.* 1) Continua implementazione delle strutture LATFC ed inizio della riprogettazione delle facilities per massimizzare la flessibilità e la capacità di adattamento ad iniziative di ricerca industriale, a carattere nazionale ed internazionale, rivolte alle prove su nuovi dispositivi e prototipi innovativi. 2) Nell'ambito di una tesi di laurea in ingegneria elettrica (II livello) è stato sviluppato il *framework* per l'automazione del sistema.

<b>Settore AE4 – Termodinamica fisica</b>
Responsabile: Roberto Gavioso

#### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Simona Lago <sup>(1)</sup>	6	1	1			8
Alberto Giuliano Albo	6	3	2			11
Michael Florio	2	7	1		1	11
Ferruccio Girard	4	5	1		1	11
Giuseppina Lopardo	4	6		1		11
Roberto Dematteis	3	7		1		11
Fabio Bertiglia	3	6	2			11
Giuseppe Braccialarghe	2	8	1			11
Luigi Iacomini <sup>(2)</sup>	2	2	1	1	5	11
Domenico Giraudi <sup>(3)</sup>	0,8	1,8			1,8	4,4
Roberto Gavioso	8			1	2	11
Daniele Madonna Ripa	9	2				11
Denis Smorgon	3	4	2	1	1	11
Lucia Rosso	10		1			11
Rugiada Cuccaro <sup>(4)</sup>	6				1,4	7,4
Mauro Banfo <sup>(5)</sup>		5				5
Vito Fernicola <sup>(6)</sup>	6	1		1	3	11
<b>Personale TD</b>						
Dario Imbraguglio	5	5	1			11
<i>Tot</i>	<b>89,8</b>	<b>63,8</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>16,2</b>	<b>188,8</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Raffaella Romeo	11					11
Giuseppe Cavuoto	8		3			11
Martina Fogliati	11					11
Giulio Beltramino	11					11
Rugiada Cuccaro <sup>(4)</sup>	0,8					0,8
<b>Personale associato</b>						
Peter Steur	2	2				4
Maria Pia Bussa					1	1
<i>Tot</i>	<b>43,8</b>	<b>2</b>	<b>3</b>		<b>1</b>	<b>49,8</b>
<b>Totale</b>	<b>133,6</b>	<b>65,8</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>17,2</b>	<b>238,6</b>

<sup>(1)</sup> Restante frazione annuale non svolta per congedo di maternità

<sup>(2)</sup> Assistente Qualità in SGQ attività svolta per il Tavolo Accredia e il coordinamento del Tavolo Conto Terzi.

<sup>(3)</sup> Part-time 40%

<sup>(4)</sup> Presa di servizio a TI in data 01/02/2020; restante frazione annuale non svolta per congedo di maternità

<sup>(5)</sup> Restante frazione annuale non svolta per pensionamento

<sup>(6)</sup> Consigliere di amministrazione

#### ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Nel 2020 l'attività di ricerca del settore ha prodotto 11 pubblicazioni su rivista internazionale.

#### **Termometria primaria e sviluppo di sensori di temperatura e di metodi termometrici innovativi**

*Obiettivi.* (Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage", "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions", "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"). Termometria primaria: completamento misure a indice di rifrazione (RIGT) a temperature criogeniche previste nel progetto 15SIB02-InK2; allestimento apparati di misura per misure acustiche (AGT) a temperature criogeniche e RIGT a temperatura ambiente, previste nel progetto 18SIB02-RealK; completamento del sistema di misura e controllo temperatura di una cella a vapori di mercurio utilizzata, presso l'Università della Campania, di un termometro basato su spettroscopia Doppler (DBT). Termometria a

radiazione: riduzione incertezza di realizzazione Scala di Temperatura Internazionale (ITS-90) dovuta a limiti di banda dei filtri interferenziali utilizzati nella misura della risposta spettrale dei termometri campione primari; nell'ambito del progetto 18SIB02 Real-K, valutazione effetti dovuti ai gradienti termici sulla temperatura di transizione di fase di punti fissi eutettici metallo-carbonio ad elevata temperatura (fino a 1492 °C); realizzazione di una sorgente di radianza allo stato solido nel vicino infrarosso (1550 nm). Termometria industriale: studio di metodi di misura dell'omogeneità di termocoppie; collaborazione con AE05 nel progetto EURAMET TC-1459 Air Temperature Metrology (ATM). Sviluppo sensori e metodi termometrici innovativi: applicazioni di termometria fotonica basate su fotoluminescenza e su metodi risonanti *whispering gallery*; nell'ambito del progetto 17IND12–MET4FoF, e in collaborazione con partner industriale, sviluppo di un sistema di taratura di sensori micro-elettromeccanici (MEMS).

*Attività svolta.* Completamento misure, analisi dati e preparazione risultati misure RIGT criogeniche per la pubblicazione; valutazione stabilità, gradienti di temperatura e incertezza (0.54 mK) camera di termostatazione per DBT; simulazione numerica effetto *out-of-band transmission* su determinazione lunghezza d'onda di lavoro dei termometri a radiazione e caratterizzazione spettrale filtri; realizzazione e caratterizzazione di una doppia termocoppia differenziale per la misura del gradiente termico su celle dei punti fissi eutettici Fe-C e Pd-C; verifica dei gradienti termici richiesti per la corretta impostazione dei parametri operativi di un forno a tre zone; progettazione opto-meccanica di una sorgente ad elevata uniformità e stabilità da usarsi come riferimento in termometria a radiazione a temperatura intermedia (da 150 °C a 1100 °C); misura dell'omogeneità di quattro termocoppie in bagno termostatico e in *heat-pipe* fra 200 °C a 900 °C; tarature in liquido dei termometri utilizzati in un confronto interlaboratorio per la misura della temperatura dell'aria; preparazione di una proposta di progetto (SRT–m03 Metcharge) per misura e controllo temperatura delle stazioni di carica per veicoli elettrici (EVCS); nell'ambito del progetto 17IND04-EMPRESS 2, messa a punto, caratterizzazione e valutazione incertezza di un metodo di misura della temperatura superficiale di sistemi di frenatura automobilistici che utilizza una sonda a fibra ottica basata sul fosforo termosensibile Cr:YAP; nell'ambito del progetto 17IND12–MET4FoF, sviluppo di un apparato per la misura della temperatura e la taratura di sensori MEMS e di un sistema di riferibilità per sensori MEMS sottoposti a test termici su macchine ATE; attività preparatorie per lo sviluppo di un certificato di taratura digitale.

*Risultati ottenuti.* Determinazione dell'indice di rifrazione di elio e neon e differenze fra temperatura termodinamica e ITS-90 fra 13.5 K e 161 K con incertezza estremamente ridotta; pubblicazione dei risultati dello studio dell'effetto di argon in traccia sulle temperature di transizione ( $\alpha\text{-}\beta$  e  $\beta\text{-}\gamma$ ) dell'ossigeno e sulla temperatura del punto triplo dell'ossigeno; pubblicazione dei risultati ottenuti nella caratterizzazione della camera isoterma per misure DBT che dimostrano un miglioramento di circa un ordine di grandezza, rispetto ai migliori dati esistenti in letteratura; pubblicazione di due rapporti tecnici INRiM (18/2020 e 34/2020) rispettivamente su: effetto *out-of-band transmission* e curve di trasmissione spettrale nella misura della risposta di termometri a radiazione primari e sullo studio e progettazione di una sorgente ottica a LED nell'infrarosso (1550 nm); caratterizzazione di una doppia termocoppia differenziale in termini di omogeneità e parametri di regolazione ottimali; emissione di 7 certificati di taratura per termometri utilizzati per la misura della temperatura dell'aria; realizzazione di una speciale pastiglia dei freni strumentata, da usare come *transfer standard* per misure *in situ* di temperatura superficiale in appositi banchi di prova per freni; completamento realizzazione di un apparato per la taratura di sensori MEMS e di un sistema per la riferibilità delle misure dei sensori MEMS sottoposti a test termici su macchine ATE.

## **Igrometria**

*Obiettivi.* Sviluppo di generatori di umidità funzionanti su regimi estesi di temperatura e pressione. (*Focal Point “Monitoring the environment and support the development of clean technologies”, “Supporting sustainable energy conversion and clean storage”*).

*Attività svolta.* Caratterizzazione metrologica di un generatore termodinamico di umidità in tracce nel campo di temperatura di brina da -100 °C a -75 °C (frazione molare da 15 ppb a 1 ppm) e di pressione da 200 hPa a 1100 hPa ed analisi dei dati acquisiti. Coordinamento e preparazione di una proposta EMPIR (PROMETH2O) sulla metrologia dell'acqua in tracce nei gas di processo.

*Risultati ottenuti.* Completamento realizzazione del generatore campione di umidità in tracce. Realizzazione scala di temperatura di brina e scala di frazione molare di acqua in azoto. Selezione e finanziamento del progetto PROMETH2O che sarà coordinato dall'INRiM nel triennio 2022-2025. In collaborazione con Politecnico di Torino, pubblicazione d'impatto dello studio di una tecnologia di raffreddamento passiva, per capillarità o l'evaporazione, basata sull'utilizzo di radiazione solare e comune acqua salata.

## **Proprietà termofisiche**

*Obiettivi.* (*Focal Point “Monitoring the environment and support the development of clean technologies”, “Supporting sustainable energy conversion and clean storage”, Art. 5.2.8 “Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico” del PNR 2021-2027*). Misura di proprietà termodinamiche (velocità del suono, densità) di fluidi refrigeranti, acqua (marina e pura) e idrocarburi leggeri anche liquefatti; aggiornamento sistema di misura dell'emissività normale spettrale

nell'infrarosso (fra 1  $\mu\text{m}$  e 14  $\mu\text{m}$ ) basato sulla tecnica del *blackbody reflectometer*.

*Attività svolta.* Caratterizzazione 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 in collaborazione con ITC-CNR. Intraprese collaborazioni con Snam ed Eni per sviluppare modelli termodinamici innovativi utili per favorire il processo di transizione energetica. In collaborazione con AE02, sviluppo di modelli termodinamici e realizzazione misure di velocità del suono in aria umida per confronto con risultati metodi interferometrici; sostituzione del sistema di riscaldamento/regolazione della temperatura della cavità a corpo nero realizzata tramite *heat-pipe* al potassio.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazione risultati di misura della velocità del suono in metano liquido e in acqua deuterata. Conclusione misure di velocità del suono in acqua pura sottoraffreddata. Conclusione misure di densità in acqua marina standard sottoraffreddata. Realizzazione di un campione di trasferimento per le misure di velocità del suono.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Termometria**

*Obiettivi.* Sviluppo delle attività di mantenimento e disseminazione dei campioni nazionali di temperatura attraverso un incremento delle capacità di misura e taratura (CMC) e la riduzione delle incertezze associate; promozione e partecipazione a confronti internazionali, anche con ruoli di coordinamento; attività di taratura e misura per conto di terzi; partecipazione attiva nei comitati e nei gruppi di lavoro del BIPM e di Euramet.

*Attività svolta.* Ricondizionamento del criostato che realizza il campione nazionale di temperatura per la disseminazione del kelvin ai punti fissi criogenici nell'intervallo fra 13 K e 273.16 K; revisione di 7 procedure tecniche di taratura di celle ai punti fissi criogenici e termometri a capsula; riparazione dei punti fissi, riferimenti nazionali, dell'argon e del gallio; trasferimento della riferibilità ad un nuovo punto fisso dell'argon; caratterizzazione di un nuovo bagno termostatico per il mantenimento delle celle del punto triplo dell'acqua (vedi rapporto tecnico 41/2020); studio del rumore elettromagnetico in un forno commerciale utilizzato per la realizzazione dei punti fissi di zinco, alluminio e Argento (vedi rapporto tecnico RT 19/2020); revisione del Protocol per il Key Comparison CCT-K7 per la realizzazione del punto triplo dell'acqua; revisione del Draft A del CCT Key Comparison 9; coordinamento confronto bilaterale Euramet P1457 (T-S7) con Tubitak-UME (Turchia) per la misura dei parametri richiesti per la realizzazione di scale temperatura di radianza tra 150 °C e 1100 °C, inclusa analisi dei dati di misura INRiM e dei risultati preliminari UME e la verifica della stabilità degli strumenti campioni viaggiatori tramite taratura ai punti fissi di indio, stagno, zinco, alluminio, argento e rame; contributo alla discussione e alla preparazione di una guida pratica per l'uso delle termocamere applicate alla misura della temperatura corporea; *draft* del documento: *Best Practice Guide "Use of thermal imagers to perform non-contact screening of human body temperature"*; collaborazione con i Servizi Informatici INRiM per la presentazione del progetto SRT- i25 SmartCom2 per lo sviluppo delle *facility* per produrre un certificato di taratura digitale (DCC) di temperatura; collaborazione con AE01 a conclusione delle attività di taratura del campione nazionale di portata di gas MeGas; consolidamento realizzazione campione al punto fisso del rame tramite confronto fra celle di fabbricazione INRiM; conclusione del confronto internazionale EURAMET.T-S3 sulla taratura di termocoppie Pt-Pd nell'intervallo fra 419,527 °C e 1492 °C; attività di taratura di termometri di tipo industriale per contatto.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazione sul KCDB di 14 nuove CMC di termometria; pubblicazione dei risultati di un confronto inter-laboratorio (ILC) con LNE-CNAM per la taratura di una cSPRT su tutti i punti criogenici compresi fra 13 K e 273 K e nello stesso intervallo, taratura di 2 termometri campione a capsula (cSPRT) utilizzati per termometria primaria AGT e RIGT; pubblicazione in collaborazione con TIPC-CAS (CN) e LNE-CNAM (F) su metodo di termometria primaria RIGT; pubblicazione su *Metrologia* del rapporto finale del confronto internazionale EURAMET.T-S3; pubblicazione dei rapporti tecnici INRiM: (30/2020) "The Euramet Project P1457 (BIPM KCDB EURAMET.T-S7) "Comparison of measurement parameters required in radiance temperature scale realization from 156 °C to 1100 °C"; (10/2020) "Analisi delle incertezze associate al campione nazionale di portate di gas dell'INRiM denominato MeGas"; (35/2020) "Ripristino delle celle del punto fisso del rame per termometria a contatto s/n CuLei1 e s/n CuJm2"; attività di certificazione: sono stati emessi complessivamente dai laboratori Temperature Intermedie, Termometria a radiazione e Termometria Industriale, 190 certificati di taratura per committenti esterni e interni; organizzazione di 13 confronti interlaboratorio per taratura di misuratori di temperatura con emissione di 30 relazioni di confronto.

### **Igrometria**

*Obiettivi.* Disseminazione della scala di temperatura di rugiada e di umidità relativa. Servizi metrologici a catalogo e attività di supporto all'accreditamento.

*Attività svolta.* Esecuzione di tarature/misure e organizzazione di ILC; attività di valutazione documentale e valutazione su campo da remoto di laboratori accreditati o accreditandi; coordinamento del *Loop 3* del confronto pilota incluso nel progetto EURAMET P1459 *Air Temperature Metrology* (ATM)

*Risultati ottenuti.* Emessi 31 certificati per tarature interne. Emessi 28 certificati per tarature conto terzi per taratura in laboratorio e in campo. Emesse 14 relazioni di confronto inter-laboratorio. Giornate uomo per incarichi per attività di supporto all'accreditamento: 19. Misure e raccolta dati dei partecipanti del confronto previsto per progetto EURAMET P1459 ATM.

### **Proprietà termofisiche**

*Obiettivi.* Riattivazione delle CMC e della certificazione delle misure di densità nei liquidi; partecipazione attiva al gruppo di lavoro del BIPM nell'ambito del CCT-TG-ThQ *Task Group for Thermophysical Quantities*.

*Attività svolta.* Proseguito il percorso necessario per acquisire il riconoscimento dell'Italia come membro effettivo dell'*International Association of the Properties of Water and Steam* (IAPWS) con l'obiettivo di costituire un comitato nazionale di soggetti interessati; analisi delle incertezze dei risultati del confronto "CCT-S1 *Supplementary Comparison of Infrared Spectral Normal Emittance/Emissivity*".

*Risultati ottenuti.* L'attività di qualificazione delle misure di densità dei liquidi è stata sospesa a causa delle difficoltà di accesso al laboratorio per effetto della pandemia COVID; contributi ed osservazioni alla preparazione del testo del documento "*CMC review protocol for infrared spectral emissivity measurements*".

### **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

*Obiettivi.* Iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale; attività di normazione nazionale e internazionale; organizzazione e supervisione di confronti inter-laboratorio fra laboratori accreditati; supporto ad ACCREDIA per le attività di accreditamento con ruolo ispettivo; organizzazione e svolgimento di corsi di formazione per *stakeholder* industriali; svolgimento di tirocini a vari livelli, incluso addetti presso istituti metrologici di paesi emergenti; promozione e svolgimento di Dottorati di Ricerca; attività di docenza per corsi di primo e secondo livello attivi presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino.

*Attività svolta.* 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 di lezione, 5 crediti formativi; addestramento alla taratura di SPRT e termocoppie ai punti fissi di un ricercatore dell'Istituto di Metrologia del Sud Africa (NMISA); addestramento e collaborazione con ricercatore dell'Istituto di Metrologia Sudcoreano (KRISS), ospite INRiM per 12 mesi, nell'ambito delle attività di sviluppo di campioni di umidità in tracce e attività connesse al CIPM MRA; Partecipazione all'attività di normazione nei gruppi IEC TC 65B WG5 e CEI SC65B GdL5; esecuzione di valutazioni documentali e sul campo, in modalità da remoto ed in presenza, a supporto di ACCREDIA; svolgimento di due corsi di formazione per *stakeholder* industriali; in igrometria, attività di addestramento di operatore di laboratorio e/o responsabile di attività di area su attrezzature e campioni di laboratorio, affidamento di analisi dati di misura di tarature/confronti, affiancamento a misure in campo per la taratura di camere climatiche; addestramento alle attività di laboratorio di tirocinanti di scuole superiori.

<b>Settore AE5 – Termodinamica applicate</b>
Responsabile: Andrea Merlone

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Graziano Coppa <sup>(1)</sup>	8			1	1	10
Paola Iacomussi	6,6	1,1		3,3		11
Andrea Merlone <sup>(2)</sup>	3,3	3,3		2,2	2,2	11
Chiara Musacchio	7,7			2,2	1,1	11
Stefano Pavarelli <sup>(3)</sup>	5,6	4,4			1	11
Francesca Romana Pennechi	7,7	1,1		2,2		11
Francesca Rolle <sup>(4)</sup>	4,5	3,3		2,2		10
Michela Sega <sup>(5)</sup>	2,4	2,4		2,2	1,8	8,8
Pier Giorgio Spazzini <sup>(6)</sup>	2					2
Marco Santiano <sup>(7)</sup>	1	1				2
<i>Tot</i>	<b>48,8</b>	<b>16,6</b>		<b>15,3</b>	<b>7,1</b>	<b>87,8</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Graziano Coppa <sup>(1)</sup>	1					1
Francesca Rolle <sup>(4)</sup>	1					1
<b>Personale associato</b>						
Giuseppe Rossi	3					3
<i>Tot</i>	<b>5</b>					<b>5</b>
<b>Totale</b>	<b>53,8</b>	<b>16,6</b>		<b>15,3</b>	<b>7,1</b>	<b>92,8</b>

(1) Presa di servizio TI in data 01/02/2020

(2) Responsabile di settore

(3) Addetto al servizio protezione e prevenzione.

(4) Presa di servizio TI in data 01/02/2020

(5) Responsabile di Divisione

(6) 9 mesi/persona nel settore AE01

(7) 6 mesi/persona nel settore AE02, 2 mesi/persona nel settore AE01, 1 mese persona nel settore ML04.

## ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

### Chimica e analisi statistica associata

**Obiettivi.** (Focal Point “Monitoring the environment and support the development of clean technologies”, “Supporting the quality of life and health”, “Improving the quality and impact of fundamental scientific research”, Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico del PNR 2021-2027) 1) Miglioramento del sistema di preparazione di miscele gassose. 2) Preparazione e caratterizzazione di miscele gassose di riferimento per la misura dei rapporti degli isotopi stabili del CO<sub>2</sub> (δ<sup>13</sup>C e δ<sup>18</sup>O) per i progetti EMPIR 16ENV06 SIRS e 19ENV05 STELLAR. 3) Riferibilità e incertezze in misure in ambito marino (parametri chimico/fisici marini, pCO<sub>2</sub>). 4) Sviluppo di modelli e codici per la valutazione di conformità di dati composizionali in applicazioni chimico/ambientali. 5) Sviluppo di casi studio per la valutazione di incertezza e conformità a specifiche. 6) Sviluppo della versione 2.0 del software Calibration Curve Computing (CCC).

**Attività svolta.** 1) Il sistema di preparazione di miscele gravimetriche è stato verificato, in particolare per quanto concerne la tenuta delle linee di trasferimento di gas e il raggiungimento del grado di alto vuoto necessario al buon condizionamento delle bombole prima della preparazione delle miscele. È stata inoltre effettuata la validazione della stazione per la preparazione di miscele mediante diluizione dinamica, in particolare della nuova camera di miscelamento, realizzata nell’ambito del progetto EMPIR 16ENV06 SIRS. 2) Preparazione di materiali di riferimento gassosi per le misure di rapporti isotopici del CO<sub>2</sub> nell’ambito del progetto SIRS. Sono stati inoltre preparati campioni delle miscele gravimetriche per la loro verifica mediante spettrometria di massa presso l’istituto Max Planck (MPI-BGC, Jena, Germania), partner del progetto SIRS. A tale scopo è stata sviluppata una apposita procedura di condizionamento dei contenitori e trasferimento delle miscele. A settembre 2020 è iniziato il progetto EMPIR STELLAR, prosecuzione del progetto SIRS, ed è iniziata la pianificazione della preparazione di nuove miscele gassose per il suddetto progetto. 3) Partecipazione al JPI

Oceans in collaborazione con l'istituto OGS e partecipazione alla stesura del progetto INFRAIA "MINKE"; collaborazione scientifica col Centro Ricerche Ambiente Marino S. Teresa (ENEA). 4) Nel progetto IUPAC/CITAC n. 2019-012-1-500 "*Influence of a mass balance constraint on uncertainty of test results of a substance or material and risks in its conformity assessment*", si sono affinati i modelli probabilistici (Bayesiani) e le tecniche di simulazione (Monte Carlo) per la valutazione di conformità di dati composizionali. 5) Valutazione di incertezze delle *Electrical Properties Tomography* - EPT di un *phantom* (soluzione omogenea) da RMN e valutazione di conformità per concentrazione di particolato atmosferico (Progetto EMPIR 17NRM05 EMUE); collaborazione col Politecnico di Torino sulla valutazione dell'incertezza per modelli aerodinamici di turbolenza. 6) Validazione del CCC v2.0.

*Risultati ottenuti.* 1) Pubblicazione dei *report* dei risultati ottenuti nell'ambito del progetto EMPIR SIRS. Sono stati descritti gli ottimi risultati ottenuti nella preparazione delle miscele a rapporti isotopici noti mediante il sistema e la procedura sviluppati. 2) Invio di un contributo per presentazione a congresso dei risultati ottenuti nell'ambito delle misure di rapporti isotopici del CO<sub>2</sub>. 3) Partecipazione a *workshop* internazionale Metrosea 2020 sulle tematiche delle misure in ambito marino; pubblicazione di uno studio di confronto metrologico tra profili marini da diversi sensori. 4) Sviluppo di esempi applicativi (materiale di riferimento per la purezza di iodato di potassio, composizione chimica di leghe metalliche e prodotti alimentari) con pubblicazioni su rivista e presentazioni ad Isranalytica 2020. 5) Pubblicazione dei *report* e dei relativi codici di calcolo sulla pagina del progetto EMUE nella piattaforma Zenodo; pubblicazione di un Compendio degli esempi EMUE sul sito del progetto; presentazione al *workshop* EMUE per gli stakeholders del progetto; pubblicazione di un articolo sulla propagazione dell'incertezza per l'inversione di campo in modelli di turbolenza. 6) Pubblicazione di un articolo su rivista relativo alla nuova versione del software CCC v2.0.

## **Meteorologia e climatologia**

*Obiettivi.* (Focal Point "*Monitoring the environment and support the development of clean technologies*", "*Improving the quality and impact of fundamental scientific research*", Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico del PNR 2021-2027)

1) Supporto alla climatologia nella valutazione di serie storiche e record di temperatura. 2) Miglioramento delle tecniche di misura negli studi di aree polari (Artico), glaciali, periglaciali e in grotta. 3) Realizzazione di un *test site* per il "*Surface Reference Network*" del *Global Climate Observing System* (GCOS) delle Nazioni Unite. 4) Valutazione performance di radiosonde per misura di parametri atmosferici termo-fluidodinamici. 5) Miglioramento delle procedure di taratura per sensori atmosferici.

*Attività svolta.* 1) Si sono sviluppate le prime bozze di raccomandazioni WMO basate sulle tecniche sperimentate con successo nella validazione dei record di temperatura atmosferica in Kuwait e Pakistan. 2) Avvio progetto EMPIR 19SIP06 COAT, collegato al *parent project* ENV58 MeteoMet2. Il progetto prevede un'*intercomparison* da realizzarsi in Artico, in collaborazione con INRiM e ISAC-CNR, di termometri e schermi radiativi per la misura della temperatura dell'aria. Prosecuzione progetto RIST 2, coordinato da CNR-IRPI in collaborazione con INRiM, sullo studio dell'ambiente periglaciale del bacino della Bessanese in termini interazione fra temperature dell'aria e della roccia, radiazione solare e proprietà termomeccaniche di rocce e ghiaccio. Prosecuzione progetto *Metrology for Caves*, in collaborazione con il Politecnico di Torino e il Club Alpino Italiano, sul monitoraggio delle temperature e dell'ambiente nel sito delle Grotte di Bossea. Prosecuzione della collaborazione con ARPA Piemonte sulle tarature di sensori permafrost in ambito alpino. I lavori verranno organizzati anche al fine di generare contributo (numerico e su *best practice*) per il gruppo "*Permafrost Best Practice*" (*co-Chair*) del WMO – *Global Cryosphere Watch*. Proseguimento delle attività in collaborazione con l'Istituto di Scienze Polari del cnr per l'implementazione del laboratorio comune di metrologia precedentemente avviato a Ny-Ålesund. 3) Avvio progetto 19SIP03 CRS "*Climate Reference Station*", collegato al *parent project* ENV58 MeteoMet2, coordinato da INRiM. Il progetto prevede la progettazione, installazione e caratterizzazione di una stazione di riferimento per la climatologia da realizzarsi in collaborazione con il Comune di Torino e Società Meteorologica Italiana. 4) Conclusione delle procedure di analisi dati sulla comparazione delle performance delle radiosonde, in collaborazione con CNR-IMAA. 5) Prosecuzione progetto 03NRM18 INCIPIT, coordinato da INRiM, sui metodi di taratura dei pluviometri "*non-catching*". 6) Studio di un algoritmo migliorato di interpolazione della Callendar-Van Dusen per la taratura dei sensori Pt100 atmosferici. 7) Partecipazione al progetto "Complete" (PoliTO) con validazione dei sensori innovativi per miniradiosonde.

*Risultati ottenuti.* 1) È stata prodotta una bozza di linea guida per la validazione metrologica di record climatici ed è stata inviata al WMO per successiva revisione sia in ambito SERCOM sia INFCOM. 2) Il progetto COAT porterà ad un miglioramento della conoscenza del comportamento di sensori meteorologici e schermi associati in ambiente artico. La collaborazione al progetto RIST 2 porterà alla pubblicazione di un articolo scientifico sulla frequenza di frane in relazione alla temperatura di rocce e ambiente circostante, misurate tramite sensori accuratamente tarati in INRiM; un secondo articolo, riguardante le proprietà termomeccaniche delle rocce periglaciali, è in previsione. Il progetto di monitoraggio delle proprietà termiche degli ambienti ipogei continuerà e potrà portare alla pubblicazione di un lavoro a rivista sui benefici delle tarature dei sensori utilizzati. La collaborazione con ARPA Piemonte sulle misure di permafrost porterà all'invio per la pubblicazione a rivista di

due articoli scientifici, riguardanti il sistema di taratura ideato da INRiM e le sue performances applicate ai profili di temperatura misurata del suolo. Estensione delle capacità di taratura in loco di termometri anche per misure in suolo e ghiaccio. 3) È prevista la realizzazione di un prototipo di stazione di riferimento per la climatologia, che verrà utilizzata per studiarne la configurazione e i migliori metodi per l'utilizzo e la taratura di strumenti in funzione delle esigenze climatologiche. 4) L'invio di due articoli scientifici sulla comparazione metrologica delle performance delle radiosonde Vaisala RS41 e RS92, uno in camera climatica e l'altro in tunnel a vento EDDIE, è in programma ma correntemente rimandato. 5) Il progetto INCIPIIT porterà alla miglior conoscenza delle *performance* e delle limitazioni dei pluviometri *non-catching*, e alla redazione di *best practices* e metodi per la loro taratura. È stato inviato per la pubblicazione in rivista un articolo di *review* sugli attuali sistemi utilizzati come pluviometro *non-catching*. 6) Lo studio ha portato ad un miglioramento delle tecniche matematiche utilizzate attualmente per l'interpolazione dei risultati della taratura di sensori atmosferici, in particolare nel dominio delle temperature inferiori a 0 °C. 7) Pubblicazione di un articolo scientifico sulla realizzazione di procedura specifica per la taratura di "miniradiosonde" nell'ambito del progetto "Complete".

### **Termometria termodinamica per contatto**

*Obiettivi.* 1) Prosecuzione del progetto "Realk" su utilizzo di "Gas-Controlled Heat Pipes" WP3. 2) Caratterizzazione e incertezze di sensori innovativi e compatti per velivoli (Progetto H2020 "MIDAS").

*Attività svolta.* 1) Realk: Raccolta termometri HTSPRT da partecipanti e avvio del nuovo *gas controlled heat pipe* al sodio, correntemente rimandata causa Covid-19. 2) MIDAS: caratterizzazione di sensori di temperatura e pressione in camera climatica con controllo di pressione e tunnel a vento, integrando il sistema di lettura *Compact air data probe* sviluppato dai *partner*.

*Risultati ottenuti.* 1) Attività rimandata e rimodulata in collaborazione con SMU. 2) Report relativo allo studio eseguito sui sensori sviluppati nel progetto MIDAS per la condivisione e discussione dei risultati ottenuti con i *partner* del progetto. Valutazione accuratezza dati in pressione dinamica, in relazione ai parametri angolari di volo.

### **Interazioni radiative tra sorgenti e materiali**

*Obiettivi.* (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage", "Supporting the quality of life and health", "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*) 1) Tecniche di caratterizzazione dei materiali 2) Tecniche di caratterizzazione sensori digitali 3) Caratterizzazione interazione materiali sorgenti.

*Attività svolta.* 1) Conclusione progetto SURFACE, implementazione modalità di caratterizzazione delle superfici stradali in condizioni ottimizzate per le condizioni di visione dei diversi utenti stradali, caratterizzazione di materiali a stampa 3D, 2) analisi di sensori digitali iperspettrali, 3) protocolli per la caratterizzazione percettiva materiali protesici dentali (con Unito), impatto sorgenti UV su materiali biologici (con Unito).

*Risultati ottenuti.* 1) implementazione materiali di riferimento a stampa 3D per il coefficiente di luminanza e deposito di due brevetti, utilizzo in ILC Test open source per il calcolo dell'incertezza di misura del coefficiente di luminanza 2) test su camera iperspettrale 3) definizione di protocolli per la caratterizzazione percettiva di materiali protesici; definizione allestimento strumentale laboratorio Advanced Aesthetic (Unito) – presentazione richieste di acquisto per un totale di 95 k€, Test presso Dipartimento di Scienze pediatriche, Reparto di neonatologia sub-intensiva impatto lampade a UV su tessuti biologici e caratterizzazione sorgenti.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Chimica e analisi statistica associata**

*Obiettivi.* 1) Partecipazione a confronti internazionali di misura nel settore dell'analisi di gas. 2) Partecipazione attiva nelle organizzazioni metrologiche europee ed internazionali e in network internazionali. 3) Supporto in *peer review* e accreditamento di altri NMI.

*Attività svolta.* 1) Contributo alla redazione del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018 riguardante la misura di NO<sub>2</sub> a livello urbano. 2) Rappresentanza nei comitati metrologici europei e internazionali (*Contact Person* nel TC-MC di EURAMET, nel *Subcommittee on Gas Analysis* e membro nello *Strategy WG*; membro eletto dello *Steering Committee* della EMN MATHMET e persona di contatto per la EMN *Climate and Ocean observations*; *Contact person* nel GAWG del CCQM), in organizzazioni internazionali ed europee (*Chair* di IMEKO TC-8 "*Traceability in metrology*" e CITAC "*Cooperation on International Traceability in analytical Chemistry*"; delegato nazionale di Eurachem e partecipazione nei suoi gruppi di lavoro *Eurachem/CITAC WG on Measurement Uncertainty and Traceability*, *Eurachem/CITAC WG on Reference Materials*, *Eurachem WG on Qualitative Analysis*); 3) Attività di ispettore tecnico in *peer review* e accreditamento di altri NMI.

*Risultati ottenuti.* 1) Conclusione del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018 (non ancora pubblicato). 2) Svolgimento delle attività entro i comitati; revisione delle guida Eurachem/CITAC "*Use of*

*uncertainty information in compliance assessment*"; proposta di progetto di rete "Measurement uncertainty training - MATHMET EMN project idea to improve quality, efficiency and dissemination" (INRiM Impact WP leader). 3) Esame documentale e visite ispettive presso NMI stranieri.

### **Meteorologia e climatologia**

*Obiettivi.* Mantenimento e rafforzamento di attività, incarichi, partecipazioni e *chairmanship* in corso nei rilevanti *network* e TC EURAMET, nei comitati CIPM e negli *expert team* WMO, sia in rappresentanza della comunità metrologica sia con ruolo di delegato nazionale.

*Attività svolta.* *Chairmanship Working Group Environment* del CCT – CIPM; Partecipazione *WG Strategy* del CCT – CIPM; Partecipazione all'EMN "Climate"; *Co-Chairmanship Task Team Uncertainties* CIMO-WMO; *Chair-Rapporteur on Climate and reference stations – Commission of Climatology – WMO*; Partecipazione (delegato nazionale) *Expert team Surface* CIMO-WMO; Partecipazione (delegato nazionale) *Expert team Classification* CIMO-WMO; Partecipazione (delegato nazionale) *Expert team Metrology* CIMO-WMO; *Scientific secretary* IMEKO TC12; Partecipazione al TC-T Euramet; partecipazione al GRUAN in qualità di rappresentante metrologico.

*Risultati ottenuti.* Svolgimento task nei diversi comitati tecnici:

Dal 2021 sarà operativo un *task* specifico per la validazione di record di interesse climatologico, nell'ambito del WMO *Expert Team "Measurement Uncertainties"* (*Chairperson*); contributi all'Annex 1 della nuova Guida n. 8 WMO "Operational measurement uncertainty requirements and instrument performance requirements" e "implementing the internationally approved definitions on measurement uncertainty, published by BIPM (VIM)"; "mechanisms for ensuring consistency between the Annex of the CIMO Guide and OSCAR/Requirements database, in the future", *Develop guidance on requirements and criteria for developing and sustaining reference observing networks (Special focus on climate change aspects)*; *Liaise with the WMO Secretariat*. Proseguimento della *chairmanship* e dei lavori del *Working Group Environment* del CCT-BIPM; partecipazione ai lavori del *Working Group "Strategy"* del CCT. *Co-chairmanship* della "International Surface Temperature Initiative".

### **Termometria termodinamica per contatto**

*Attività svolta.* Prosecuzione del coordinamento del progetto EURAMET 1459 "ATM Air Temperature Metrology" per la produzione di una linea guida per la taratura di termometri in aria. Conclusione *loop* del ILC (INRiM Pilot) avvio analisi dati.

*Risultati ottenuti.* Conclusione ILC e *draft A* performance per taratura per termometri per temperatura dell'aria tra -40 °C e 60 °C, organizzazione *loop* ILC presso altre RMO.

### **Interazioni radiative tra sorgenti e materiali**

*Attività svolta.* Partecipazione TG-BTM *Body temperature Measurement*, ILC coefficiente di luminanza, test software per il calcolo incertezza per il coefficiente di luminanza

*Risultati ottenuti.* Completamento ILC coefficiente di luminanza, analisi dati valutazione incertezza, implementazione CRM, applicazione e verifica risultati software calcolo incertezza per il coefficiente di luminanza.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

*Obiettivi.* 1) Massimizzare l'impatto tecnologico e scientifico dei progetti in corso. 2) Ampliare la portata della scienza termodinamica a sforzi multidisciplinari in cui le grandezze chimiche e le proprietà dei materiali giocano un ruolo chiave. 3) Sviluppare sensori, strumenti e metodologie innovativi adatti a trasferire le tarature e associate incertezze dal laboratorio al sito, alle applicazioni intelligenti. 4) Contribuire a comprendere, modellare, valutare e ridurre le incertezze nei campi applicati delle proprietà fisico-chimiche. 5) Affrontare le esigenze di ricerca degli stakeholder scientifici e industriali nelle misurazioni della termodinamica chimica, la riferibilità per le osservazioni oceaniche, la scienza atmosferica e l'evoluzione climatica. 6) Partecipazione attiva nei comitati normatori.

### **Chimica e analisi statistica associata**

*Attività svolta.* 1) Contributi a *workshop* nazionali ed internazionali. 2) Corsi di formazione per studenti di dottorato, *stage* di formazione per *visiting scientist*. 3) Rappresentanza in enti normatori (*Chair* UNI/CT 016/GL 69 "Applicazioni dei metodi statistici"; ISO/TC 69/SC 6/ WG 7 "Statistical methods to support measurement uncertainty evaluation"); traduzioni in lingua italiana di documenti normativi e linee guida internazionali; 4) attività di divulgazione.

*Risultati ottenuti.* 1) Presentazioni al *workshop* internazionale Metrosea 2020; tre presentazioni a invito ad A&T 2020; organizzazione, *co-chair* e *membership* dei comitati scientifici di *workshop* e conferenze internazionali; editoriale di una *Special Section on Mathematical and Statistical Methods for Metrology workshop* (MSMM

2019); avvio dell'organizzazione dello ENBIS/MATHMET *joint workshop* (MSMM 2021); presentazione "Valutazione di conformità secondo il JCGM 106:2012 (ISO/IEC 98-4:2012)" all'interno di un corso di aggiornamento di ACCREDIA sulla valutazione della conformità a specifica". 2) Docenza sui temi "Uncertainty, GUM, Basic Maths" e "Mole, chemistry" per dottorandi in metrologia; formazione per *guest researcher* e formazione a distanza per NMI stranieri su preparazione e caratterizzazione di miscele primarie di riferimento e sulle misure di acqua nei materiali; correlatore di tesi di primo livello "State-of-the-art of Machine Learning for Metrology". 3) Sviluppo dei *task* specifici; contributo alla traduzione italiana della Guida Eurachem CITAC "Measurement uncertainty arising from sampling - A guide to methods and approaches (Second Edition 2019)"; corso UNI su "JCGM 101:2008 e JCGM 102:2011, Valutazione dell'incertezza di misura con il metodo Monte Carlo e per casi multivariati" 4) Partecipazione a "la notte della ricerca", a novembre 2020 con interviste.

### **Meteorologia e climatologia**

*Attività svolta.* 1) Contributi a *workshop* nazionali e internazionali. 2) Corsi di formazione per studenti di dottorato, stage di formazione per *visiting scientists*. 3) Attività di divulgazione.

*Risultati ottenuti.* 1) Pianificazione preliminare della conferenza internazionale 4<sup>th</sup> *Metrology for Meteorology and Climate* (MMC) a Exeter (UK) (posticipata causa covid19; *membership* del comitato scientifico per la conferenza CIM2021. 2) Formazione per due RMG rimandati causa pandemia. 3) Partecipazione a "la notte della ricerca", novembre 2020 con interviste; partecipazione alla divulgazione "Cocktail di scienza" con interviste sul ruolo della metrologia nella meteorologia e climatologia. Partecipazione alla stesura del "Progetto Scuole" per la divulgazione della metrologia e delle attività dell'INRiM dedicato alle scuole secondarie di secondo grado.

### **Interazioni radiative tra sorgenti e materiali**

*Attività svolta.* 1) Docenza corso di Ottica e Optometria, Psicofisica della Visione. 2) Disseminazione materiali di riferimento IoT e applicazioni metrologiche per *smart mobility* 3) Ricerche preliminari nel campo interazione materiali biologici e lampade UV, terminato definizione allestimento laboratorio di Advanced Aesthetic presso UNITO 4) consulenza Curia e commissione Conservazione Sindone 5) *Technical Secretary* CIE TC4-50; Partecipazione allo CIE JTC 12; *Liaison officer* CIE- ISO TC22-SC35; Partecipazione allo IGC TC10 *Optical properties*; Partecipazione allo IEEE P2020 *Automotive Image Quality*.

*Risultati ottenuti.* 1) Docenza corso Psicofisica della Visione, *Secondment* dottorato Tech4C, 2) Realizzazione di 3 *Webinar* per la disseminazione in modalità *open* dei risultati del progetto SURFACE, realizzazione 2 *guidelines* su metodi di caratterizzazione superfici stradali, partecipazione alla divulgazione "Cocktail di scienza" con video sulle interazioni percettive sorgenti – materiali – osservatori 3) Test preliminare su lampade UV 4) Supervisione e realizzazione illuminazione preghiera del Sabato Santo in Duomo 5) Nomina a *contact officer* CIE Div4 – ISO e referente INRiM CUNA, verifica e implementazione documento normativo P2020 per standard KPI digital camera.

## Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie

Responsabile: Davide Calonico

### Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2020

Ricercatori e Tecnologi: 41. Tecnici: 14

### Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 30. Associati e incarichi: 9

### 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:

SETTORE	DESCRIZIONE
QN01: Chimica Fisica e Nanotecnologia (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.
QN02: 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.
QN03: 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.
QN04: 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.
QN05: 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 <math>2 \times 10^{-17}</math> 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 2020, ha partecipato a 47 progetti finanziati di ricerca nazionali e internazionali, di cui 12 coordinati dalla Divisione. I progetti finanziati da imprese sono 7, da enti pubblici nazionali 8, da enti internazionali 32. 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 2020, QN ha consolidato 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 2020, il progetto è stato concluso, con il completamento della camera pulita di 500 m<sup>2</sup> e l'acquisizione di un sistema "Trusted Node" per la comunicazione quantistica su lunga distanza, dotato di diagnostica avanzata a singolo fotone.

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 2020, INRiM ha perseguito inoltre la creazione di uno **European Metrology Network (EMN) per la sicurezza alimentare** creando il consorzio e la proposta alla base dell'EMN, di cui attualmente è approvato il progetto di supporto (Food-MetNet) in ambito Euramet ed è in definizione l'approvazione della EMN stessa.

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 2020, il nuovo laboratorio è stato completato, la strumentazione è stata acquisita (con installazione di strumentazioni come NMR 600, ICM-MS e LC-MS) e si completerà il progetto con i relativi collaudi per febbraio 2021 come da progetto stesso.

Il contributo di INRiM allo sviluppo del progetto strutturale Europeo di Navigazione satellitare **Galileo** ha costituito anche nel 2020 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'azienda prime 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 2020 tutti i 1850 km sono diventati operativi e gestiti in continuità temporale: INRiM da marzo 2020 è collegato agli NMI di Francia, Germania e UK (frequenza), mentre sono operativi i collegamenti dei diversi istituti italiani di CNR, INAF, ASI e alcune tra le più importanti compagnie aerospaziali. Nel 2020 sono stati pubblicati i primi lavori sulla distribuzione di QKD ed entanglement, mentre si è completato il primo esperimento col metodo cosiddetto TF-QKD, che permette di applicare QKD e disseminazione di frequenza con gli stessi segnali.

## Ricerca e Sviluppo

Nel corso del 2020 la Divisione ha pubblicato 64 lavori su riviste internazionali indicizzate (di cui 62 con IF) e ha partecipato a 47 progetti di ricerca, di cui 12 coordinati da INRiM. Pertanto, QN nel 2020 si attesta su 1,46 pubblicazioni/ricercatore (a tempo indeterminato) e 1,31 progetti attivi/ricercatore (a tempo indeterminato).

Per quanto riguarda le attività relative alla **Chimica Fisica e alle Nanotecnologie**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti.

- Per realizzare una facility per la crescita e manipolazione di microorganismi di Classe 2 al fine di sviluppare dei sistemi di misura innovativi per l'identificazione e la quantificazione di virus e batteri in sospensione sono state messe a punto i) procedure standardizzate per l'applicazione di norme ISO 22196:2011 per le misure delle proprietà antibatteriche di superfici ii) metodi di misura (DPPH ed ORAC) per la quantificazione delle proprietà antiossidanti di differenti tipologie di composti e materiali.
- Per sviluppare nanotecnologie idonee alla rilevazione di contaminanti e alla fabbricazione di materiali per gli alimenti, sono state prodotte nanoparticelle e substrati flessibili nanostrutturati a base metallica (Au e Ag), sviluppando due sistemi applicativi per la quantificazione di fungicidi (ditiocarbammati) su frutta, e un metodo di misura per la quantificazione dell'anidride solforosa nei vini con validazione rispetto al metodo ufficiale OIV.
- Per la misura della qualità delle matrici alimentari, della superficie dei materiali d'imballaggio e la

quantificazione dei agenti attivi è stata studiata i) la degradazione degli alfa-tocoferoli (componenti della Vitamina E, con forti proprietà antiossidanti) negli oli vegetali ii) l'effetto di antiossidanti commerciali e naturali, negli imballaggi alimentari, soprattutto nel caso degli oli EVO.

Sulle tematiche della **Elettronica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti.

- Sono stati caratterizzati dispositivi QHE e QHARS in grafene, anche attraverso un confronto internazionale. In particolare, sono stati realizzati circuiti integrati per effetto Hall quantistico in grafene.
- È stato validato il ponte digitale per confronti resistenza-capacità con relativa automazione, anche con un confronto INRiM-PTB. Nell'attività si segnala una collaborazione con secondment di 8 mesi al KRISS, l'NMI sudcoreano.
- Nell'attività di modeling e realizzazione di dispositivi per singoli fotoni a microonda, è stata realizzata la piattaforma criogenica per la caratterizzazione MW di amplificatori criogenici Josephson (TWJPA), con una produzione di amplificatori poi provati presso INFN-LNF, che ha condotto a un miglioramento del processo fabbricativo.

Sulle tematiche della **Fotometria e Radiometria** i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti.

- Nello sviluppo di sensori superconduttivi a transizione di fase (TES) ad alta risoluzione energetica, oltre alla modifica del sistema misura criogenico basato sul criostato a smagnetizzazione adiabatica (ADR), sono stati caratterizzati campioni TES del NIM cinese, studiando l'effetto dell'annealing per bilayer di TiAuPd. Con il nuovo montaggio per i campioni TES sono stati fatti i primi esperimenti di conteggio di singolo fotone all'interno dell'ADR.
- Nell'attività sui Fotorivelatori predicibili (PQED), misure ellissometriche su campioni di SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiNx, hanno permesso di ottimizzare lo spessore della deposizione per ridurre la riflettività esterna nei futuri PQED realizzati su fotodiodi prodotti nel progetto ChipScale;
- Nell'attività di caratterizzazione metrologica di sorgenti e rivelatori a singolo fotone Si SPAD (850nm), InGaAs-InP SPAD (1550nm), SNSPD e microonde, è stato realizzato il setup per misure a incertezza migliorata dell'efficienza quantica di differenti SPAD, il modello teorico per correzione del tempo morto in detector free running; taratura componenti e realizzazione dell'OTDR; test di SNSPD e sviluppo di modello quantistico per fenomeni di 3WM e 4WM a pochi fotoni in amplificatori parametrici a microonda.

Sulle tematiche della **Ottica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti:

- Nello sviluppo di nuove tecniche di quantum metrology, imaging & sensing basate sulla luce subPoissoniana è stato realizzato un esperimento di quantum reading, oltre a proseguire lo sviluppo di tecniche ODMR con centri NV indirizzate a misure di temperatura e di campi magnetici deboli con risoluzione spaziale micrometrica, in particolare per campioni biologici, attività documentata in pubblicazioni internazionali.
- Nelle applicazioni alla metrologia quantistica di nuovi paradigmi di misura della meccanica quantistica, lo studio delle tecniche fotoniche connesse alle misure deboli (weak values) ha condotto a risultati pubblicati o sottomessi per pubblicazione.
- Nello sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone, si sono studiati nuovi centri di colore in diamante in vista della realizzazione di sorgenti a singolo fotone pubblicando i risultati su sorgenti a singolo fotone da centri di colore fluoro.

Sulle tematiche di **Tempo e Frequenza**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti.

- Nello sviluppo del campione allo Sr, atomi di <sup>88</sup>Sr sono intrappolati in reticolo ottico, mentre la radiazione di orologio a 698 nm è stata generata ed è stata realizzata la catena optoelettronica per l'estensione della purezza spettrale del laser di orologio a Ytterbio a 1156 nm verso i 698 nm, per il successivo asservimento. L'orologio all'Yb (ITYb-1), è stato completato un confronto di frequenza

internazionale con lo Sr del NICT in Giappone, utilizzando una innovativa tecnica basata su osservazioni VLBI.

- È stato realizzato un prototipo compatto dell'orologio a microonda POP, con miglioramenti sul gas tampone, basato sull'impiego del Kr, oltre allo sviluppo di un modello teorico "ab initio" per la caratterizzazione del trasferimento del rumore di ampiezza del laser di rivelazione, verificato anche sperimentalmente. Inoltre, con una nuova elettronica digitale, la stabilità di medio termine è migliorata di un ordine di grandezza.
- Nei sistemi quantistici molecolari e ibridi, sono state realizzate una sorgente di atomi di bario con segnali spettroscopici ripetibili, osservati sia con photon counter sia con videocamera ed è stato realizzato un risonatore ottico per il raffreddamento laser di atomi di litio.
- Nelle applicazioni di T/F in fibra ottica, è stato pubblicato il primo esperimento VLBI che vede collegati i radiotelescopi di Medicina e Matera, affinché condividano un segnale di orologio comune. Inoltre, l'interferometria laser coerente per T/F ha permesso un esperimento di QKD in campo reale per estendere oltre i 200 km i collegamenti QKD senza rigeneratori classici.
- Nell'applicazione dell'elettronica digitale, è stato completato un nuovo tipo di fasometro digitale multicanale a elevata risoluzione capace di generare in tempo reale una scala di tempo ed il relativo segnale fisico.

### 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 2020 sono risultati attivi 16 confronti di misura internazionali e sono stati emessi ca 370 certificati di taratura e prova, distribuiti nelle aree elettriche, fotometriche e di tempo/frequenza.

Per quanto riguarda la **Chimica Fisica e Nanotecnologia**, sono stati realizzati 2 confronti VAMAS, uno per la misurazione delle risoluzioni spaziali (laterali, assiali) di microscopi Raman utilizzando CNT dispersi e layer di grafene, un secondo per la misurazione delle proprietà strutturali di un foglio di grafene cresciuto tramite deposizione chimica da vapore (CVD) mediante spettroscopia Raman; nell'attività con metodi analitici basati sull'AAN (Analisi per Attivazione Neutronica) per la caratterizzazione, certificazione e studi di provenienza di alimenti e materie prime utilizzate nella nutrizione umana ed animale, il settore ha partecipato a confronti internazionali di misura in ambito CCQM nel gruppo IAWG (Inorganic Analysis Working Group), con la pubblicazione su rivista (Metrologia) del report sul confronto CCQM K145-P183.

Per quanto riguarda la **Elettronica Quantistica**, è stato validato un nuovo metodo di taratura delle piccole correnti (100 pA - 5 uA) con l'emissione di relativa procedura; è stato pubblicato il risultato del confronto internazionale EURAMET.EM-K5 per la grandezza potenza elettrica; nella realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico si è consolidato l'uso del ponte a CCC per la realizzazione del campione e della scala di resistenza elettrica in regime continuo con incertezza base di parti in 1e9.

Per quanto riguarda la **Fotometria e Radiometria**, nella realizzazione e disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche, vi è stata la preparazione Key-comparison Euramet K3.2020 sull'intensità luminosa; completamento della Key-comparison Euramet K6.2018 sulla trasmissione in filtri neutri e della comparison supplementare Euramet S4.2012 sulla taratura di radiometri UVA ad alti livelli di irradiazione; è stata ristabilita la capacità di effettuare misure di sensibilità spettrale a luce coerente nel visibile (300 nm - 800 nm).

Per quanto riguarda la **Ottica Quantistica**, è proseguita la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di documenti di standardizzazione per la crittografia quantistica, oltre alla collaborazione con il CEN-CENELEC per la scrittura delle Roadmap sulla standardizzazione delle Tecnologie Quantistiche. E' stato sviluppato un banco ottico di test dei dispositivi per la QKD, con sottomissione di un articolo sulla taratura di dispositivi per la QKD a 1550 nm

Per quanto riguarda la metrologia **Tempo e Frequenza**, il campione primario a fontana di Cesio ITCsF2 è

stato tarato 9 volte Tempo Atomico Internazionale, con accuratezza di poche parti in  $10^{16}$ . Sono stati inoltre migliorati l'hardware, gli algoritmi ed il relativo software utilizzati per la realizzazione della scala di tempo italiana in tempo reale; è stato inoltre studiato un algoritmo per la generazione di una scala di tempo sperimentale sulla base delle misure dell'orologio ottico all'Yb, che è stato testato e validato su dati simulati.

Un confronto internazionale tra IT-Yb1 e l'orologio ottico NICT-Sr1 del NICT (Giappone) è stato realizzato per la prima volta, con innovative tecniche di trasferimento di frequenza con antenne VLBI trasportabili e broadband. Il link ottico di frequenza è stato esteso verso la Francia per consentire confronti di orologi ottici ad altissima accuratezza tra istituti metrologici europei. Nell'ambito della disseminazione di segnali di tempo via fibra ottica all'industria Leonardo (Nerviano), e a Telespazio (Fucino), l'infrastruttura è stata completata, anche se a causa della pandemia è stato impossibile arrivare alla verifica dell'accuratezza.

### Campioni nazionali mantenuti dalla Divisione (DM 591/1993)

QN02	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica
QN02	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica in regime alternato sinusoidale
QN02	Campione nazionale di potenza elettrica
QN02	Campione nazionale di potenza elettrica per radiofrequenza e microonde
QN02	Campione nazionale di attenuazione di potenza
QN02	Campione nazionale di energia elettrica
QN02	Campione nazionale di tensione elettrica in regime alternato sinusoidale
QN02	Campione nazionale di capacità elettrica
QN02	Campione nazionale di induttanza
QN03	Campione nazionale di intensità luminosa
QN05	Campione ottico di frequenza a Itterbio ultrafreddo
QN05	Campione primario di frequenza a fontana di cesio
QN05	Scala nazionale di tempo UTC(IT)

### Altri campioni

QN01	Campione di conducibilità elettrolitica
QN02	Campione quantistico di tensione elettrica per effetto Josephson
QN02	Campione quantistico di resistenza per effetto Hall quantistico
QN02	Campione di rapporto di tensione in regime alternato sinusoidale
QN03	Potenza radiazione in fibra ottica
QN03	Sensibilità spettrale
QN03	Luminanza
QN03	Trasmissione regolare
QN03	Trasmissione diffusa
QN03	Riflessione regolare

### Terza Missione

Per quanto riguarda le attività di **Knowledge Transfer**, nel 2020 la Divisione è stata assai impegnata nel completamento dei laboratori della Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA) e dell'Infrastruttura Piemonte Quantum Enabling Technology (PiQuET), che hanno entrambe una vocazione al KT. Inoltre, QN ha portato il proprio contributo nell'ambito del Progetto Scuole, oltre a contributi alla formazione universitaria con corsi di II e III livello. Diversi sono stati i periodi di ricerca all'estero di dottorandi della Divisione.

Il Settore Chimica Fisica e Nanotecnologia ha collaborato con ACCREDIA, nei progetti attivi IEC 62607-6-7 e 62607-6-8.

In ambito di collaborazione industriale, è proseguito il trasferimento tecnologico per la realizzazione di un

prototipo spazializzato di orologio a microonde POP con Leonardo. Inoltre, è stato completato il progetto di KT con METAS per la realizzazione di un link in fibra ottica in Svizzera. Sono proseguite le attività contrattuali con le aziende Telespazio, Thales Alenia Space e SpaceOpal per lo sviluppo dei sistemi di timing di Galileo, la definizione e l'implementazione dei vari servizi. Infine, continua l'attività di KT verso OpenFiber con lo sviluppo di sensori in fibra ottica con tecniche T/F per la rivelazione sismica, collaborazione che vede coinvolto anche INGV

<b>Settore QN1 - Chimica Fisica e Nanotecnologie</b>
Responsabile: Andrea Mario Rossi

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Luigi Bergamaschi	6	4		0,5	0,5	11
Francesca Durbiano	7	2,5		0,5	1	11
Andrea Mario Giovannozzi	9	1		0,5	0,5	11
Chiara Portesi	7	2		0,5	1,5	11
Andrea Mario Rossi	4	4		1	2	11
Matteo Berruto (*)	5	5			1	11
<i>Tot</i>	<b>38</b>	<b>18,5</b>		<b>3</b>	<b>6,5</b>	<b>66</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Luisa Mandrile	10	1				11
Alessio Sacco	10	1				11
<b>Personale in formazione</b>						
Giulia Barzan (PhD)	10					10
Iris Cagnasso (PhD)	10					10
<i>Tot</i>	<b>40</b>	<b>2</b>				<b>42</b>
<b>Totale</b>	<b>78</b>	<b>20,5</b>		<b>3</b>	<b>6,5</b>	<b>108</b>

(\*) Matteo Berruto ha svolto i corsi per l'ottenimento della qualifica di ASPP della palazzina B; per questa attività e' stato inserito 1 M/M alla voce "Gestione & coordinamento"

## ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

### Biosicurezza

**Obiettivi.** Questo tema di ricerca ha l'obiettivo di realizzare una facility per la crescita e manipolazione di microorganismi di Classe 2 al fine di i) studiare la resistenza a varie tipologie di agenti antimicrobici, ii) rilevare la presenza di microorganismi e farmaci in matrici alimentari, iii) studiare nano-materiali e/o prodotti naturali con proprietà antibatteriche e antiossidanti per packaging alimentare iv) sviluppare dei sistemi di misura innovativi (per esempio tramite l'accoppiamento della spettroscopia Raman con la dielettroforesi) per l'identificazione e la quantificazione di virus e batteri in sospensione, e studiarne l'interazione con agenti antivirali e antibatterici.

**Attività svolta.** I) Nell'ambito di una tesi di dottorato sono state messe a punto procedure standardizzate per l'applicazione di norme ISO volte quantificare le proprietà antibatteriche di superfici attive. II) In collaborazione con l'Università di Saragozza sono stati selezionati estratti di origine naturale derivanti da foglie di Moringa, Olive e Uva per valutarne le proprietà antibatteriche e antiossidanti. III) In collaborazione con l'Università di Torino sono state condotte misure antibatteriche su nanoparticelle di carbonio derivanti da sintesi "green" IV) Sono stati condotti test per la definizione dei parametri dielettroforetici di cella per la manipolazione e concentrazione di oggetti fino alla nanoscala e dei parametri ottimali di acquisizione degli spettri Raman. V) E' in via di sviluppo un sistema di misura risultante dall'accoppiamento della spettroscopia Raman con la dielettroforesi per la rilevazione e caratterizzazione di virus e la valutazione di sostanze antivirali in modo rapido e non distruttivo.

**Risultati ottenuti.** Si sono consolidate e sono a disposizione le norme ISO 22196:2011 per le misure delle proprietà antibatteriche di superfici. Messa a punto di metodi di misura, quali DPPH ed ORAC, per la quantificazione delle proprietà antiossidanti di differenti tipologie di composti e materiali. 1 pubblicazione su rivista internazionale (Sensor and Actuator B: Chemical). E' stato proposto e finanziato tramite le erogazioni ordinarie della fondazione Cassa di Risparmio di Torino il progetto "Spettroscopia Raman accoppiata con dielettroforesi (Raman-DEP) per l'identificazione di virus e la valutazione di molecole antivirali - ViRaDEP"

## **Nanotecnologie per la metrologia alimentare**

*Obiettivi.* Questa ricerca ha l'obiettivo di sviluppare tecniche di analisi sensibili per la rilevazione di contaminanti negli alimenti e per la fabbricazione di materiali destinati al contatto con gli alimenti mediante l'utilizzo delle nanotecnologie. S'intende fabbricare nanoparticelle metalliche (Au e Ag) in sospensione o adese su superfici per utilizzarle nell'ambito della Spettroscopia SERS, al fine di incrementare la sensibilità del segnale Raman nella rilevazione in campo di possibili contaminanti alimentari (es. pesticidi, anidride solforosa e micotossine) o per lo studio di matrici alimentari liquide (es vino o olio).

*Attività svolta.* Tramite tecniche di sintesi chimica sono state prodotte nanoparticelle e substrati flessibili nanostrutturati a base metallica (Au e Ag) per aumentare la sensibilità delle spettroscopie vibrazionali nella rilevazione di alcuni contaminanti chimici. In particolare, sono stati sviluppati a) 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; b) metodo di misura per la quantificazione dell'anidride solforosa nei vini con validazione rispetto al metodo ufficiale OIV.

*Risultati ottenuti.* 4 pubblicazioni scientifiche internazionali (Talanta, Scientific Report, Food Chemistry)

## **Materiali o Oggetti a Contatto Alimentare**

*Obiettivi.* Questo filone di ricerca riguarda lo sviluppo di sistemi di misura per la caratterizzazione della qualità delle matrici alimentari e della superficie materiali per l'imballaggio e /o a diretto contatto con gli alimenti e lo sviluppo di metodi e tecniche di analisi per la quantificazione degli agenti attivi (nanoparticelle o molecole naturali) che possono migrare dall'imballaggio al cibo.

*Attività svolta.* Tramite tecniche di cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) accoppiate a rivelatori UV e di Fluorescenza è stata studiata la degradazione degli alfa-tocoferoli (componenti della Vitamina E, con forti proprietà antiossidanti) negli oli vegetali (oli extravergini di oliva, oli di semi vari e oli di girasole), in funzione dell'invecchiamento e di fattori acceleranti (luce solare e riscaldamento). E' poi stato studiato l'effetto di agenti antiossidanti commerciali e naturali, per valutare il possibile utilizzo negli imballaggi alimentari, per allungare la shelf-life del prodotto, che, soprattutto nel caso degli oli EVO, costituisce un'eccellenza della produzione alimentare italiana, di cui tutelare la qualità il più a lungo possibile.

*Risultati ottenuti.* Il sistema di misura è stato perfezionato da un tirocinante extracurricolare ed il lavoro scientifico è stato oggetto di una tesi sperimentale.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Metrologia Raman**

*Obiettivi.* Sviluppo della tecnica di Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) mediante la quantificazione dell'effetto di amplificazione in configurazione AFM e STM. Sviluppo di un metodo d'analisi con riferibilità alle unità del SI. Partecipazione ai confronti interlaboratorio nell'ambito del Surface Analysis Working Group (SAWG) del CCQM. Partecipazione a confronti interlaboratorio per la taratura di spettrometri Raman confocali attraverso materiali di riferimento.

Partecipazione a confronti interlaboratorio in ambito pre-normativo VAMAS per la caratterizzazione del numero di layers e il grado di disordine in flake di grafene. L'attività è prevista nell'ambito del progetto 19NRM04 ISO-G-Scope.

*Attività svolta.* Il settore è stato impegnato in 2 confronti VAMAS di misura uno riguardante la procedura per la misurazione delle risoluzioni spaziali (laterali, assiali) di microscopi Raman utilizzando CNT dispersi e layer di grafene. Il secondo confronto interlaboratorio ha riguardato da misurazione delle proprietà strutturali di un foglio di grafene cresciuto tramite deposizione chimica da vapore (CVD) mediante spettroscopia Raman

*Risultati ottenuti.* 1 pubblicazione su rivista internazionale (Journal of material chemistry C).

### **Contaminanti alimentari**

*Obiettivi.* 1) In collaborazione con il NRC-Canada è stata messa a punto una metodica per la coltura, isolamento ed estrazione di OTA in grano. Inoltre è stato effettuato uno studio dell'interazione dell'OTA con nanoparticelle di Ag e con AgNO<sub>3</sub> al fine di avere indicazioni qualitative della presenza di OTA in matrici alimentari. 2) Sviluppo del metodo ufficiale dell'Organization of Vine and Wine (OIV) di analisi dell'anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) nel vino e valutazione dell'incertezza di misura.

*Attività svolta.* 1) Contaminazione in ambiente controllato di chicchi di grano contenuti in flask, controllo della crescita delle muffe precorritrici dell'OTA in incubatore ed estrazione in fase liquida dell'OTA prodotta. Sviluppo di metodiche per analizzare l'interazione dell'OTA con l'Ag attraverso tecniche quali Raman-SERS e spettroscopia UV-VIS. 2) È stato realizzato il sistema di misura secondo l'OIV per la determinazione della SO<sub>2</sub> ponendo l'attenzione sulle sorgenti d'incertezza, non presenti in letteratura.

*Risultati ottenuti.* 1) È stato effettuato uno studio di fattibilità per l'analisi qualitativa dell'OTA in matrici alimentari. 2) È stato messo a punto il sistema di misura secondo l'OIV ed è stata ottimizzata la procedura di

misura in base alla valutazione dell'incertezza di misura.

### **Analisi per Attivazione Neutronica**

*Obiettivi.* Sviluppo di metodi analitici basati sull'AAN (Analisi per Attivazione Neutronica) per la caratterizzazione, certificazione e studi di provenienza di alimenti e materie prime utilizzate nella nutrizione umana ed animale. Tali metodi sono applicati per la determinazione della frazione di massa di elementi presenti come componenti principali o in tracce, come costituenti nutritivi o come elementi tossici.

Partecipazione a confronti internazionali di misura in ambito CCQM (Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology) nel gruppo IAWG (Inorganic Analysis Working Group).

*Attività svolta.* Si sono svolte analisi per la caratterizzazione e per la determinazione della provenienza di origine di alimenti, ad esempio applicando le analisi a Sali alimentari provenienti da diverse parti del mondo. I risultati di analisi sono stati elaborati tramite strumenti chemiometrici al fine di discernere le differenti tipologie e provenienze.

Sono stati sviluppati metodi specifici per partecipare a confronti nell'ambito della food metrology che saranno applicati ad esempio a confronto internazionale sull'analisi di Arsenico in frutti di mare (2020-2022).

*Risultati ottenuti.* Partecipazione conferenza IMEKO FOODS 2020. Pubblicazione su rivista (Metrologia) del report sul confronto CCQM K145-P183.

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA)**

*Obiettivi.* 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.

*Attività svolta.* In collaborazione con servizi tecnici, personale amministrativo si è provveduto alla realizzazione dei nuovi laboratori e alla acquisizione delle procedure per l'acquisto della nuova strumentazione.

*Risultati ottenuti.* Si sono completati i laboratori e sono state installate le seguenti strumentazioni: NMR 600, ICM-MS e LC-MS.

### **Progetto scuole**

*Obiettivi.* Il Settore partecipa al progetto Scuole, promosso dal Presidente, che ha l'obiettivo di divulgare la metrologia a studenti e personale scolastico nelle scuole superiori.

*Attività svolta.* Si sono tenute le riunioni preliminari del Gruppo Scuole per definire i contenuti e le modalità di realizzazione del progetto stesso. Si è discusso della possibile organizzazione dei seguenti eventi: i) Ciclo di conferenze rivolte agli studenti delle scuole superiori. ii) Ciclo di conferenze rivolte agli studenti delle scuole superiori e di contatti per promuovere le iniziative proposte.

*Risultati ottenuti.* Sono state definite le attività da svolgere nel 2021 (con la prima scadenza entro il 20 maggio 2021)

### **Network europeo sulla sicurezza alimentare**

*Obiettivi.* Al fine di stabilire un European Metrology Network (EMN) per la sicurezza alimentare è stata sviluppata la proposta di progetto EMPIR Food-MetNet che ha lo scopo di supportare e gettare le basi per l'EMN.

*Attività svolta.* Si è provveduto alla preparazione, alla costruzione del consorzio e alla presentazione della proposta EMPIR Food-MetNet per il sostenimento finanziario e per la costruzione della futura rete metrologica europea sulla sicurezza alimentare.

*Risultati ottenuti.* Il progetto Food-MetNet per lo sviluppo di un futuro European Metrology Network sulla sicurezza alimentare è stato approvato.

<b>Settore QN2 - Elettronica quantistica</b>
Responsabile: Luca Callegaro

### Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Luca Callegaro	5	3		1	2	11
Cristina Cassiagio	4	7				11
Emanuele Enrico	11					11
Chiara Gionco (*)	3					3
Luca Oberto	9	2				11
Bruno Trincherà	6	5				11
Vincenzo D'Elia	5	6				11
Enrico Gasparotto	4	7				11
Danilo Serazio (**)	4	4	2		1	11
<i>Tot</i>	51	34	2	1	3	91
<b>Assegni ricerca</b>						
Alessandro Cultrera	11					11
Martina Marzano	11					11
<b>Personale in formazione</b>						
Angelo Greco (PhD)	11					11
Luca Fasolo (PhD)	11					11
Ngoc Thanh Mai Tran (PhD)	11					11
<b>Personale associato</b>						
Massimo Ortolano	2					2
<i>Tot</i>	57					57
<b>Totale</b>	<b>108</b>	<b>34</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>148</b>

(\*) Chiara Gionco: assunzione il 2020.10

(\*\*) Danilo Serazio: ASPP

### ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

#### **Caratterizzazione di dispositivi e sistemi**

*Obiettivi.* a) Progetto 16NRM01 GRACE caratterizzazione elettrica di dispositivi in grafene. b) Progetto 18SIB07 GIQS: Circuiti integrati per effetto Hall quantistico in grafene, sviluppo sistemi di misura innovativi.

*Attività svolta.* a) Conclusione del progetto e confronto internazionale. Estensione tecnica ERT a reti di nanofili.

b) Caratterizzazione di dispositivi QHE e QHARS in grafene, secondment KRISS.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni scientifiche. Good practice guides for electrical characterisation of graphene.

#### **Realizzazione quantistica del farad nel nuovo SI**

*Obiettivi.* Progetto 18SIB07 GIQS: validazione del ponte digitale per confronti resistenza-capacità. Progetto EURAMET #1501 confronto INRiM-PTB ponti digitali. Misure dispositivi per effetto Hall quantistico in ac.

*Attività svolta.* Automazione e debugging del ponte digitale di confronto di impedenze. Secondment KRISS (8 mesi) di uno studente di dottorato.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni scientifiche.

#### **Manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde**

*Obiettivi.* a) EMPIR 17FUN10 Parawave: modeling e realizzazione dispositivi per singoli fotoni a microonda. Implementazione di piattaforma criogenica per la caratterizzazione MW di amplificatori criogenici Josephson.

b) FET-Open SuperGalax (coll. QN04): fattibilità realizzazione di sorgente singolo fotone heralded MW.

*Attività svolta.* a) Sviluppo di software per la progettazione di sistema di adattamento di impedenza sintonizzabile per l'accoppiamento di dispositivi ad alta impedenza (ad es. RF-SET e RF-SQUID) con sistemi a 50 Ohm basato su array di SQUID integrato in guida d'onda coplanare. Caratterizzazione dei TWJPAs INRiM

presso INFN-LNF. Definizione di un nuovo protocollo fabbricativo per TWJPAs che implementano azioni correttive sulla base delle misure effettuate. Estensione del modello quantistico dei TWJPAs per l'analisi di interazione con stati coerenti e di Fock.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni scientifiche (in corso).

### **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.* Allestimento del laboratorio PiQuET e definizione dei protocolli di nanofabbricazione per la realizzazione di dispositivi mesoscopici con giunzioni tunnel robuste e riproducibili. Progettazione dell'allestimento del setup criogenico e di misura in DC. Modellizzazione di dispositivi contenenti SQUIPT per la manipolazione di singoli elettroni.

*Risultati ottenuti.* Collaudo del laboratorio PiQuET. Avvio allestimento del laboratorio di criogenia e upgrade del criostato a diluizione. Pubblicazioni scientifiche.

### **Potenza ed energia elettrica nel nuovo SI**

*Obiettivi.* Validazione risultati di 15RPT04 TracePQM: partecipazione al confronto internazionale chiave EURAMET.EM-K5. 19RPT01 Quantum Power: implementazione campione quantistico di tensione AC operante a frequenza industriale.

*Attività svolta.* Aggiornamento software open-source per la gestione sincronizzata di campioni di potenza elettrica. Implementazione switch coassiale per la caratterizzazione di campionatori a partire dal campione di tensione AC/DC.

*Risultati ottenuti.* Validazione misure campionate di potenza attiva e reattiva (in corso); Pubblicazione scientifica in corso.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Campione nazionale quantistico di tensione elettrica**

*Obiettivi.* Progetto di acquisizione di sistema PJVS per generazione e misura di tensioni continue e alternate sino al kHz, anche in vista dell'assunzione di un'unità di personale 3RIC TI (concorso QN02 2020).

*Attività svolta.* Progetto presentato (maggio 2020), selezionato da Direzione Scientifica, non selezionato dal Consiglio Scientifico.

### **Unità e scale di impedenza elettrica**

*Obiettivi.* Sperimentazione nuovi ponti di impedenza digitali per revisione scale di capacità e induttanza. Preparazione ai confronti EURAMET.EM-K3 (10 mH, 1 kHz) e EURAMET.EM-K4 (10-100 pF, 1592 Hz).

*Attività svolta.* Automazione Validazione ponte digitale di confronto di impedenze a quattro porte. Attivazione virtual lab impedenze accessibile da remoto.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni scientifiche. Validazione per confronto con scala di impedenze mantenuta.

### **Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala**

*Obiettivi.* (a) Sviluppo di metodi di taratura di amplificatori sincroni (lock-in) per tensioni inferiori a 100  $\mu$ V, nell'ambito del progetto EURAMET #1466 Calibration of lock-in amplifiers. (b) Realizzazione (per carica di capacità) della scala delle piccole correnti continue (10 fA - 1 nA) verrà validata da un confronto con un amplificatore a transresistenza (Ultrastable low-noise current amplifier, ULCA).

*Attività svolta.* (a) Svolgimento confronto INRiM-METAS #1466 (b) Validazione completata.

*Risultati ottenuti.* Pubblicazioni scientifiche. Nuova procedura di taratura PT-EM-3.2-06 100 pA - 5  $\mu$ A.

### **Metrologia per RF&MW**

*Obiettivi.* Revisione sistema qualità e CMC di potenza e parametri di scattering.

*Attività svolta.* Aggiornamento procedure. Misure preliminari di caratterizzazione dei VNA INRiM e di conferma metrologica volte al recepimento della guida EURAMET cg-12. Acquisizione dei dispositivi necessari per la conferma delle CMC INRiM in corso di validità. Studio sulla possibilità di riattivazione del campione di potenza a RF&MW prendendo la riferibilità dall'esterno.

*Risultati ottenuti.* Revisione procedure PT-EM.11.3-06 e PT-EM.11.3-07. Aggiornamento dei dati di caratterizzazione del rumore di fondo dei VNA INRiM. Conferma metrologica dei banchi di misura di Parametri di Scattering fino a 50 GHz (RT 43/2020 e 44/2020).

### **Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato**

*Obiettivi.* Misure confronto internazionale EURAMET.EM-K5. Verifica campione di tensione AC/DC per confronto diretto contro dispositivo PTB. Estensione campione primario di tensione AC/DC fino a 30 MHz.

*Attività svolta.* Report EURAMET.EM-K5. Misure e espressione incertezza campione AC/DC a 30 MHz.  
*Risultati ottenuti.* Pubblicazione scientifica.

**Convenzione INRiM-MISE contatori di energia** (in collaborazione con AE)

*Obiettivi.* Convenzione INRiM-MISE 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.

*Attività svolta.* Allestimento strutturale e del laboratorio.

*Risultati ottenuti.* Rendicontazione al MISE e connessione con enti normativi.

**Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico**

*Obiettivi.* Consolidamento dell'uso del ponte a CCC per la realizzazione del campione e della scala di resistenza elettrica in regime continuo con incertezza base di parti in  $10^9$ .

*Attività svolta.* Esecuzione di misure di confronto tra campioni di resistenza e prime prove con il sistema criomagnetico a temperatura ambiente.

*Risultati ottenuti.* Validazione ponte CCC. Revisione procedura PT-EM.2.1-02.

**Struttura di riferibilità delle unità elettromagnetiche**

*Attività svolta.* Realizzazione pratica, nel nuovo SI, dell'ampere, ohm, siemens, coulomb, farad, henry, watt, joule. Mantenimento dei campioni nazionali (DM 591/1994) di: corrente elettrica, potenza ed energia elettrica, tensione elettrica ac, resistenza elettrica ac, capacità, induttanza. Campione quantistico di resistenza, di rapporti di tensione alternata, di campione di parametri di scattering.

*Risultati ottenuti.* Superamento non conformities Peer Review EURAMET #1123. Emissione ca. 50 certificati di taratura. Attività di ILC per potenza ed energia elettrica, impedenza.

**ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

*Obiettivi.* Knowledge transfer.

*Risultati ottenuti.* Expertise tecnica per ACCREDIA. Progetti attivi IEC 62607-6-7 e 62607-6-8. Secondment ricercatori internazionali. Training di studenti di laurea triennale, specialistica, dottorato in metrologia. Erogazione corsi di III livello e PhD schools. Conferenze e seminari didattici per la diffusione del nuovo SI.

**Settore QN3 - Fotometria e radiometria**

Responsabile: Giorgio Brida

**Personale impegnato (Mesi/Persona)**

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Giorgio Brida	7	3			1	11
Roberto Filippo	10	1				11
Alice Meda <sup>(3)</sup>	8					8
Mauro Rajteri	10	1				11
Maria Luisa Rastello <sup>(4)</sup>	1	1				2
Andrea Sosso	9	1		1		11
Marco Terzi <sup>(2)</sup>		4	6		1	11
Fernando Viarengo <sup>(1)</sup>		3	3		5	11
<b>Personale TD</b>						
Paolo Durandetto <sup>(5)</sup>	1					1
<i>Tot</i>	46	14	9	1	7	77
<b>Personale in formazione</b>						
Paolo Durandetto (assegnato) <sup>(5)</sup>	10					10
Carlo Pepe (PhD)	2					2
Anita Fuda	5					5
<b>Personale associato</b>						
Franco Del Piano	11					11
<i>Tot</i>	28					28
<b>Totale</b>	<b>74</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>105</b>

<sup>(1)</sup> Assistente alla qualità<sup>(2)</sup> ASPP/referente palazzina A sicurezza<sup>(3)</sup> 3 mesi/persona nel settore QN5 Ottica Quantistica<sup>(4)</sup> Pensionamento<sup>(5)</sup> Passaggio da personale in formazione a TD**ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

L'attività di ricerca e sviluppo di questo settore si articola su cinque tematiche allineate al focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research" del documento di vision decennale dell'INRiM.

**Rivelatori di singolo fotone**

*Obiettivi.* Sviluppo di sensori superconduttivi a transizione di fase (TES) ad alta risoluzione energetica.

*Attività svolta.* Modifiche al sistema di misura criogenico basato sul criostato a smagnetizzazione adiabatica (ADR). Sono stati progettati e realizzati due serie di filtri RC e LC basati su componenti SMD da montare a 3K per ridurre i disturbi elettromagnetici. Sono inoltre stati ridisegnati i portacampioni per i TES e l'accoppiamento con il dc-SQUID, ed è stato avviato il progetto di un cannone elettronico per basse energie (0-10 eV) da usare come sorgente all'interno dell'ADR.

E' stata avviata una collaborazione con il NIM cinese per la caratterizzazione di TES fabbricati in Cina ed è proseguita la caratterizzazione di campioni TES e nanofili prodotti all'INRiM.

*Risultati ottenuti.* Sono stati caratterizzati campioni TES del NIM cinese con temperature critiche tra 500 e 90 mK, studiando l'effetto dell'annealing per bilayer di TiAuPd. I nuovi filtri hanno consentito di caratterizzare nanofili di TiAu eliminando i problemi di riscaldamento indotto dai disturbi elettromagnetici. Con il nuovo montaggio per i campioni TES sono stati fatti i primi esperimenti di conteggio di singolo fotone all'interno

dell'ADR.

### **Fotorivelatori predicibili (PQED) - EMPIR ChipScale**

*Obiettivi.* Ellissometria deposizioni di SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiN<sub>x</sub>; Modellizzazione rivelatori predicibili e validazione come campione primario; funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico del PQED, equivalenza potenza ottica/elettrica.

*Attività svolta.* Misure ellissometriche su campioni di deposizioni di SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiN<sub>x</sub>; approntamento criostato e sviluppo software per implementare funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico del PQED; caratterizzazione radiometrica corrente fotoelettrica in funzione della potenza ottica e della tensione inversa di polarizzazione.

*Risultati ottenuti.* Ottimizzazione dello spessore della deposizione per ridurre la riflettività esterna nei futuri PQED realizzati su fotodiodi prodotti nel progetto ChipScale; approntamento criostato per misure a temperatura ambiente e in regime criogenico con funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico; caratterizzazione della risposta fotoelettrica dei fotodiodi prodotti nel precedente progetto Newstar.

### **Fotometria classica e quantistica**

*Obiettivi.* Realizzazione ghost imaging plenottico.

*Attività svolta.* Allestimento setup e simulazione della propagazione dei campi termici nel setup di imaging plenottico per ricostruzione ghost di oggetti su due piani focali distinti.

*Risultati ottenuti.* Test setup plenottico con ricostruzione di un oggetto reale su due piani focali; simulazione della ricostruzione plenottica di un oggetto su due piani focali distinti.

### **Volt quantistico**

*Obiettivi.* Campione per segnali di tensione variabile che realizzano la definizione SI per mezzo dell'effetto Josephson con dispositivi di tipo programmabile e impulsato in cryocooler. Miglioramento della criogenia He-free di dispositivi superconduttivi per il quantum volt. Apparato per la polarizzazione ottica di dispositivi impulsati.

*Attività svolta.* Sviluppo del controllo con on chip sensing della temperatura di un dispositivo superconduttivo in cryocooler. Realizzazione di un'interfaccia ad elevata stabilità meccanica per la polarizzazione ottica di un chip impulsato. Studio delle tecniche per l'ac scaling e valutazione di possibili miglioramenti per il Quantum Volt.

*Risultati ottenuti.* Quantum Volt per l'elettronica digitale (Progetto DIGAC). Incremento della stabilità della temperatura di lavoro di un dispositivo a superconduttore tramite on-chip sensing. Prototipo di interfaccia per optical bias in rf dei dispositivi impulsati He-free.

### **Radiometria a singolo fotone**

*Obiettivi.* Sviluppo di setup per caratterizzazione metrologica di parametri di sorgenti e rivelatori a singolo fotone Si SPAD (850nm), InGaAs-InP SPAD (1550nm), SNSPD e microonde.

*Attività svolta.* Realizzazione di setup ottimizzati per misura dell'efficienza quantica di rivelatori Si SPAD, InGaAs-InP SPAD e SNSPD e sviluppo e test di un Optical Time Domain Reflectometer OTDR a singolo fotone a 1550nm e a 1300 nm portatile. Calcolo emissione di fotoni per processi di 3WM e 4WM in amplificatore parametrico basato su giunzioni Josephson.

*Risultati ottenuti.* Realizzazione di setup per misure con incertezza ridotta per misura dell'efficienza quantica di differenti SPAD, sviluppo modello teorico per correzione del tempo morto in detector free running; taratura componenti e realizzazione dell'OTDR; test di SNSPD e sviluppo di modello quantistico per fenomeni di 3WM e 4WM a pochi fotoni in amplificatori parametrici (Traveling Waves Josephson Parametric Amplifiers) a microonda.

### **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

*Obiettivi.* Realizzazione e disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali, con partecipazione ai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR, infine lo sviluppo della riferibilità del volt, fanno parte dei compiti NMI della Divisione.

*Attività svolta.* Preparazione Key-comparison Euramet K3.2020 sull'intensità luminosa; completamento della Key-comparison Euramet K6.2018 sulla trasmissione in filtri neutri e della comparison supplementare Euramet S4.2012 sulla taratura di radiometri UVA ad alti livelli di irradiazione; miglioramento del set-up sperimentale con switch-ottici per le misure a singolo fotone del confronto pilota CCPR (CCPR WG SP - Pilot study on the detection efficiency of single-photon detectors – Si-SPAD (850nm)) e nel vicino infrarosso (1550 nm, fibre coupled). Acquisizione di una sorgente laser Ar/Kr. Acquisizione di uno spettroradiometro CCD e sfera integratrice per estendere le capacità di misura alla misura di sorgenti luminose a LED.

*Risultati ottenuti.* Automazione delle misure di sensibilità spettrale rivelatori SPAD (850 nm). Ristabilita la

capacità di effettuare misure di sensibilità spettrale a luce coerente nel visibile (300 nm - 800 nm).

### **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

Supporto alla formazione universitaria e diffusione delle conoscenze tecnologiche e scientifiche sulla misura della radiazione ottica e dei campioni quantistici superconduttivi.

*Obiettivi.* Formazione universitaria, consulenza ad aziende, supporto ad ACCREDIA - *Accreditamento laboratori di taratura.*

*Attività svolta.* Lezioni dottorato Metrologia, consulenza ad aziende, visite ispettive per rinnovo accreditamento.

*Risultati ottenuti.* Diffusione conoscenze tecnico scientifiche sulla misura della radiazione ottica.

<b>Settore QN4 – Ottica Quantistica</b>
Responsabile: Marco Genovese

**Personale impegnato (Mesi/Persona)**

	<i>R&amp;S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione (valenza economica)</i>	<i>Terza missione (valenza socio-culturale)</i>	<i>Gestione &amp; coordinamento</i>	<i>Totale</i>
<b>Personale TI</b>						
Marco Genovese	9	0,5		0,5	1	11
Ivo Pietro Degiovanni	9	1,5		0,5		11
Marco Gramegna	10	1				11
Ivano Ruo Berchera	11					11
Fabio Saccomandi	11					11
Fabrizio Piacentini	11					11
Alessio Avella	11					11
Paolo Traina	11					11
Ekaterina Moreva	11					11
Ettore Bernardi	9					9
Alice Meda	3					3
<i>Tot</i>	<b>107</b>	<b>3</b>		<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>111,5</b>
<b>Assegni ricerca</b>						
Laura Knoll (assegno)	10					10
Elena Losero (PhD, assegno)	10					10
Pauline Boucher (assegno)	6					6
<b>Personale in formazione</b>						
Enrico Rebufello (PhD)	10					10
Salvatore Virzì (PhD)	11					11
Giulia Petrini (PhD)	11					11
Giuseppe Ortolano (PhD)	11					11
Fabio Picariello (PhD)	2					2
<b>Personale associato</b>						
Paolo Olivero	1					1
Jacopo Forneris	1					1
Slava Ditalja	1					1
<i>Tot</i>	<b>74</b>					<b>74</b>
<b>Totale</b>	<b>181</b>	<b>3</b>		<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>185,5</b>

## **ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

### **Generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana**

*Obiettivi.* Sviluppo di nuove tecniche di quantum metrology, imaging & sensing basate sulla luce subPoissoniana.

*Attività svolta.* Si è lavorato sul ghost imaging plenoptico, nonché sul phase imaging sub-shot-noise. Si è realizzato un esperimento di quantum reading.

E' proseguito inoltre lo sviluppo di tecniche ODMR con centri NV indirizzate a misure di temperatura e di campi magnetici deboli con risoluzione spaziale micrometrica, in particolare per campioni biologici.

*Risultati ottenuti.* Articoli su: Biocompatibilità su cellule in vitro delle tecniche ODMR da fluorescenza a singolo fotone da centri NV in diamante, Misure di quantum reading con twin beams

### **Nuovi paradigmi della misura quantistica**

*Obiettivi.* Applicazioni alla metrologia quantistica di nuovi paradigmi di misura della meccanica quantistica.

*Attività svolta.* Si sono studiati sperimentalmente (su fotoni) le tecniche connesse alle misure deboli (weak values) e le loro possibili applicazioni alla metrologia quantistica, con particolare riguardo agli stati entangled.

Si è studiata la matrice pseudodensità, nonché l'innovativo concetto di "agents" in termodinamica quantistica.

*Risultati ottenuti.* Articoli su: misure robuste sui weak values (sottomesso), ricostruzione ed applicazioni della matrice pseudodensità, allo studio della irreversibilità in meccanica quantistica (sottomesso).

### **Sorgenti a singolo fotone**

*Obiettivi.* Sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

*Attività svolta.* Si sono studiati nuovi centri di colore in diamante in vista della realizzazione di sorgenti a singolo fotone.

Caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

*Risultati ottenuti.* Articolo su sorgenti a singolo fotone da centri di colore fluoro.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Standardizzazione QKD**

*Obiettivi.* sviluppo di standard per le tecnologie quantistiche.

*Attività svolta.* E' proseguita la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di documenti di standardizzazione per la crittografia quantistica. È inoltre iniziata la collaborazione con il Focus Group on Quantum Technologies (FGQT) del CEN-CENELEC per la scrittura delle Roadmap sulla standardizzazione delle Tecnologie Quantistiche, contestualmente alla collaborazione con l'ente di normazione nazionale UNI relativamente al Mirror Group FGQT.

Sviluppato un banco ottico di test dei dispositivi per la QKD. Test "sul campo" di protocolli e sistemi di QKD.

*Risultati ottenuti.* JRC Report #Standards4Quantum - Making Quantum Technology Ready for Industry.

### **Taratura dispositivi per QKD**

*Obiettivi.* Sviluppo di metodi di caratterizzazione di dispositivi per la QKD e confronto con altri NMI.

*Attività svolta.* Sono proseguiti gli studi ed i confronti su rivelatori e sorgenti a singolo fotone.

Caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

*Risultati ottenuti.* Articolo sulla taratura di dispositivi per la QKD a 1550 nm (sottomesso).

Articolo su studio su TF-QKD e rumore in fibra on field di 200km (congiunto con QN5, sottomesso)

## **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Divulgazione della cultura metrologica**

*Obiettivi.* Diffusione della cultura metrologica. a) Secondment di ricercatori internazionali. b) Dottorato in Fisica, Politecnico di Torino. Partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato. c) Tutoring di studenti. d) Conferenze, interventi, seminari, interviste per i media.

*Attività svolta.* Si sono svolte attività di divulgazione scientifica rivolta alle scuole di ogni ordine e grado e particolarmente verso gli studenti delle scuole superiori, nonché seminari per la divulgazione della metrologia quantistica presso insegnanti e pubblico generico. Si sono seguite tesi a diversi livelli.

Si è collaborato con alcune industrie interessate alle tecnologie quantistiche.

*Risultati ottenuti.* Si sono tenuti due corsi per il dottorato. Seguite diverse tesi di I, II e III livello. EC Quantum Café (25th June 2020 Luxembourg, Virtual talk).

<b>Settore QN5 - Tempo e frequenza</b>
Responsabile: Filippo Levi

**Personale impegnato (Mesi/Persona)**

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
<b>Personale TI</b>						
Filippo Levi	3,3	2,2	2,2	1,1	2,2	11
Davide Calonico	4,4	1,1		1,1	2,2	8,8
Gabriele Santambrogio	11					11
Carlo Sias	9,8		0,6		0,6	11
Gianluca Bertaina	11					11
Claudio Calosso	8,8		2,2			11
Elena Cantoni	4,4	6,6				11
Giancarlo Cerretto	4,4	5,5		1,1		11
Cecilia Clivati	11					11
Salvatore Micalizio	7,7		3,3			11
Marco Pizzocaro	11					11
Marco Sellone	3,3	6,6		1,1		11
Ilaria Sesia	1,1	1,1	8,8			11
Giovanna Signorile	1,1	1,1	8,8			11
Marco Tarallo	11					11
Elio Bertacco	5,5	5,5				11
Roberto Concas	11					11
Roberto Costa <sup>(1)</sup>		9,9		1,1		11
Alberto Mura	5,5	5,5				11
Andrea Perucca		5,5	5,5			11
Paolo Terzi		11				11
Giuseppe Vizio		1,1				1,1
<b>Personale TD</b>						
Franco Fiasca			11			11
<i>Tot</i>	<i>125,3</i>	<i>62,7</i>	<i>42,4</i>	<i>5,5</i>	<i>5</i>	<i>240,9</i>
<b>Assegni ricerca</b>						
Giulia Aprile	11					11
Matteo Barbiero	11					11
Lucia Duca	11					11
Valerio Formichella	5,5		5,5			11
Michele Gozzelino	3,3		7,7			11
Elia Perego	11					11
Roberto Ricci	3,3					3,3
Matias Risaro	2,8					2,8
Thanh Tung Thai	1,1	1,1	8,8			11
<b>Personale in formazione</b>						
Irene Goti (PhD)	11					11
Filippo Berto (PhD)	11					11
Daniele Scorsino	5,5					5,5

Stefano Condio	2,2					2,2
Vivek Kuttippurath	5,5					5,5
<b>Personale associato</b>						
Giovanni Costanzo	3,3	3,3				6,6
Aldo Godone	6,6					6,6
Fabrizio Pollastri		3,3				3,3
Enrico Rubiola	1,1					1,1
<i>Tot</i>	106,2	7,7	22			135,9
<b>Totale</b>	<b>231,5</b>	<b>70,4</b>	<b>64,4</b>	<b>5,5</b>	<b>5</b>	<b>376,9</b>

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

## **ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**

### **Campioni ottici di frequenza**

*Obiettivi.* Miglioramento del campione ottico all'Yb e sviluppo di un campione quantum enhanced basato su atomi di Sr.

*Attività svolta.* Significativi progressi sono stati ottenuti nello sviluppo del campione allo Sr, dopo avere caratterizzato la sorgente di atomi freddi raffreddata con luce blu, è stata realizzata la MOT rossa e si è arrivati ad osservare atomi di <sup>88</sup>Sr intrappolati nel lattice accordato alla lunghezza d'onda magica. Per quanto riguarda l'orologio all'Yb (ITYb-1), è stato completato un confronto di frequenza internazionale con lo Sr del NICT in Giappone, utilizzando una innovativa tecnica basata su osservazioni VLBI. Si è poi lavorato per migliorare l'affidabilità e l'accuratezza del campione in vista di nuove campagne di misura nazionali ed internazionali previste per il 2021.

*Risultati ottenuti.* Sono stati pubblicati 3 articoli su rivista internazionale (highlight Intercontinental comparison of optical atomic clocks through very long baseline interferometry).

### **Campioni a microonda**

*Obiettivi.* In questo ambito proseguiranno gli studi volti alla realizzazione di sistemi compatti ad alta stabilità basati sul principio del pompaggio ottico impulsato (POP), studiando in dettaglio i diversi meccanismi di trasferimento di rumore.

*Attività svolta.* È stato realizzato un nuovo prototipo compatto del POP nel quale sono state provate celle realizzate con una miscela innovativa di gas tampone, basate sull'impiego del Kr. Sono stati effettuati studi teorici e sperimentali sul rumore di ampiezza indotto dal moto browniano degli atomi di Rb nel cammino ottico del fascio laser durante la fase di rivelazione. È stato sviluppato dal punto di vista teorico un modello "ab initio" per la caratterizzazione del trasferimento del rumore di ampiezza del laser di rivelazione, verificato successivamente anche in modo sperimentalmente.

*Risultati ottenuti.* 2 articoli su rivista.

### **Nuovi oscillatori**

*Obiettivi:* Realizzazione di sorgenti ottiche ultra low noise.

*Attività svolta.* Sono state sviluppate catene elettroniche per l'estensione della purezza spettrale del laser di orologio di IT-Yb1 a 1156 nm verso altre regioni dello spettro, in particolare alla lunghezza d'onda rilevante per il laser di orologio del campione allo Sr. Sulla base di attività pregresse, è stata avviata una nuova collaborazione con la Fondazione LINKS nell'ambito del progetto EMPiR 20fun08-NextLasers per l'introduzione di tecniche innovative di elettronica digitale volte alla riduzione del rumore di suddette catene, al fine di raggiungere stabilità tra 1 e 100 s intorno a 1e-17 in entrambe le regioni spettrali.

*Risultati ottenuti:* Realizzazione del laser di orologio per il campione allo Sr, finanziamento del progetto EMPiR 20fun08-NextLasers. Nell'ambito della collaborazione pregressa con la fondazione LINKS, è stato pubblicato un articolo.

### **Sistemi quantistici molecolari e ibridi**

*Obiettivi:* Avanzamento di nuovi sistemi per metrologia di frequenza con atomi, ioni e molecole: tecniche di spettroscopia, raffreddamento e elettronica di precisione.

*Attività svolta:* Perfezionamento dell'elettronica di aggancio dei laser nel medio infrarosso al riferimento di

frequenza in fibra. Pianificazione e disegno tecnico di una nuova sorgente di molecole fredde basata su un magnetron sputter source e una buffer gas cell. Questo nuovo disegno permetterà di produrre un fascio continuo e molto intenso di molecole fredde, pronte per essere raffreddate col laser.

Realizzazione di una sorgente di atomi di bario con segnali spettroscopici ripetibili, osservati sia con photon counter sia con camera. Identificazione di problematiche sperimentali (ora in fase di risoluzione) nella realizzazione di potenziali elettrici intensi per l'intrappolamento di ioni. Realizzazione di un risonatore ottico per il raffreddamento laser di atomi di litio. Studio teorico di sideband cooling in atomi di litio in potenziale periodico.

*Risultati ottenuti:* Due articoli su riviste internazionali.

### **Tecniche T/F in fibra ottica in applicazioni di tecnologie quantistiche, radioastronomia, geofisica, geodesia spaziale**

*Obiettivi.* Utilizzo del link in fibra per applicazioni scientifiche e tecnologiche.

*Attività svolta.* Il collegamento in fibra fra l'INRiM e i due radiotelescopi di Medicina e Matera ha permesso di realizzare un primo innovativo esperimento VLBI in cui le due antenne hanno condiviso un segnale orologio comune. Questo esperimento apre ora la strada a uno studio dei ritardi strumentali e troposferici al fine di migliorare la risoluzione delle tecniche VLBI. Inoltre, il collegamento al Radio Osservatorio di Medicina ha permesso di dimostrare l'uso della tecnica VLBI per confronti intercontinentali di orologi ottici.

Nell'ambito di una collaborazione con INGV e altri partner nazionali volta all'utilizzo della fibra come sensore sismico distribuito sono state realizzate due cavità ultrastabili trasportabili (stabilità a 1 s  $<1E-14$ ) e un sistema di acquisizione dedicato. Questi saranno installati su un testbed in Italia centrale per una prima dimostrazione nel corso del 2021. Infine, le tecniche di interferometria laser coerente sviluppate per T/F sono state utilizzate in ambito di Quantum Key Distribution per estendere oltre i 200 km la lunghezza dei collegamenti senza ricorrere ai cosiddetti Trusted Node. Una prova di principio è stata effettuata con successo su parte della Italian Quantum Backbone (Bardonecchia-Santhià).

*Risultati ottenuti.* 1 pubblicazione scientifica oltre a quella citata nel paragrafo "campioni ottici" per il confronto intercontinentale di orologi, 1 pubblicazione in fase di revisione; realizzazione della strumentazione per la rivelazione di segnali sismici su fibra ottica con tecniche T/F.

### **Elettronica digitale.**

*Obiettivi:* applicazione dei metodi digitali alla generazione di una scala di tempo in tempo reale con uscita fisica (1) e ai campioni secondari di frequenza (2).

*Attività svolta:* (1) nell'ambito del progetto industriale CDE 2018000768 con l'ENSMM di Besançon (FR) è stato completato e consegnato il Time Processor, un nuovo tipo di fasometro digitale multicanale ad elevata risoluzione capace di generare in tempo reale una scala di tempo ed il relativo segnale fisico. Lo strumento misura i campioni in ingresso, processa l'informazione in essi contenuta per calcolare l'ensemble e ne trasferisce il risultato sulla fase del segnale di uscita. Prima della consegna, il fasometro è stato testato con successo presso il laboratorio di tempo, dove ha funzionato ininterrottamente per due mesi senza presentare problema alcuno. Si sta procedendo a trasferire parte del know-how ad un partner industriale (TAS-I) in risposta alla call ESA AO/1-10369/20/NL/FE.

(2) Nell'ambito della collaborazione con FEMTO-ST (Besançon) i metodi digitali sono stati utilizzati per stimare e compensare in tempo reale il light shift indotto dal laser su un campione CPT a funzionamento continuo. Grazie ad essi, la stabilità di medio termine del campione è migliorata di quasi un ordine di grandezza. Metodi analoghi sono stati applicati in collaborazione con il Syrte, anche qui per la stessa finalità. Gli studi sono ancora in corso. E' in corso il technology tranfert verso Leonardo SpA, per la spazializzazione del POP, nell'ambito di un progetto ESA.

*Risultati ottenuti:* 2 presentazioni orali a congresso e 1 articolo su rivista.

## **ATTIVITÀ RUOLO NMI**

### **Scala di tempo**

*Attività svolta.* Il campione primario a fontana di Cesio ITCsF2 è stato mantenuto operativo per la maggior parte del tempo, misurando la frequenza del maser che genera la scala di tempo con accuratezza di poche parti e-16. Queste misure sono servite anche per la calibrazione di TAI. Sono stati inoltre migliorati l'hardware, gli algoritmi ed il relativo software utilizzati per la realizzazione della scala di tempo italiana in tempo reale, utilizzando al meglio tutti i riferimenti disponibili presso i laboratori INRiM, ovvero gli orologi atomici commerciali (a tubo di Cesio e Maser all'idrogeno) e il campione primario a fontana di Cesio. In questo modo sono state migliorate le prestazioni, la resilienza e la robustezza della scala di tempo nazionale, che fornisce il riferimento di tempo per l'Italia e che contribuisce alla generazione della scala di tempo del sistema di navigazione satellitare europeo Galileo. E' stato inoltre studiato un algoritmo per la generazione di una scala di tempo sperimentale sulla base delle misure dell'orologio ottico all'Yb, che è stato testato e validato su dati simulati.

Si è infine realizzato, in collaborazione con la ditta SKK, un prototipo di trasmettitore per confronti remoti di orologi e scale di tempo mediante tecnica Due-Vie che mostra, in base ai primi risultati sperimentali, migliori prestazioni rispetto alle tecnologie attualmente in uso.

*Risultati ottenuti.* 9 calibrazioni TAI con ITCsF2 riportate sulla circolare T, 1 pubblicazione a rivista, 3 comunicazioni a congresso, miglioramento e automazione della scala di tempo UTC(IT).

### **Confronti tra campioni di frequenza**

*Obiettivi.* Misure assolute di frequenza e rapporti di frequenze ottiche per contribuire alla ridefinizione del secondo.

*Attività svolta.* Un confronto internazionale tra IT-Yb1 e l'orologio ottico NICT-Sr1 del NICT (Giappone) è stato realizzato con innovative tecniche di trasferimento di frequenza con antenne VLBI trasportabili e broadband, situate al NICT e al Radio Osservatorio di Medicina, collegato all'INRiM attraverso un link in fibra coerente. Il confronto è stato inoltre ripetuto con tradizionali tecniche satellitari. Il link ottico di frequenza è stato esteso verso la Francia per consentire confronti di orologi ottici ad altissima accuratezza tra istituti metrologici europei.

*Risultati ottenuti.* 1 articolo su rivista internazionale, connessione alla rete in fibra ottica europea tramite collegamento con la Francia.

### **Trasferimento di tempo accurato**

*Obiettivi.* Messa a punto di tecniche innovative per il trasferimento di tempo.

*Attività svolta.* L'attività prevede la disseminazione di segnali di tempo via fibra ottica all'industria Leonardo (Nerviano), e a Telespazio (Fucino). L'infrastruttura è basata sull'utilizzo di sistemi White Rabbit, integrati all'interno del link in fibra utilizzato anche per i confronti di frequenza. La modifica e l'estensione della infrastruttura è stata pressoché completata, anche se a causa della pandemia è stato impossibile arrivare alla verifica dell'accuratezza del segnale disseminato a Nerviano e all'installazione dell'ultima stazione di rigenerazione prevista a Rieti.

*Risultati ottenuti.* Calibrazione degli apparati white rabbit. Misure preliminari di segnale di tempo a Nerviano, realizzazione dei sistemi di taratura del ritardo.

### **ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER**

*Obiettivi.* Collaborazione con industrie.

*Attività svolta.* È proseguito il trasferimento tecnologico per la realizzazione di un prototipo spazializzato di orologio POP con Leonardo. È stato completato il processo di validazione delle prestazioni dell'engineering model del physical package del POP realizzato da Leonardo con qualifica spazio (shock e vibrazione). ESA ha avviato la fase due della prototipazione, volta a realizzare l'engineering model dell'ottica e dell'elettronica del POP con analogo grado di qualifica spaziale. Leonardo è nuovamente prime contractor di questa attività, mentre INRM ha ruolo di consulenza scientifica e test del prodotto finale.

È stato completato il progetto di KT con METAS per la realizzazione di un link in fibra ottica in Svizzera.

Sono proseguite le ordinarie attività conto terzi per la taratura di apparati tempo e frequenza.

Sono proseguite le attività contrattuali con le aziende Telespazio, Thales Alenia Space e SpaceOpal per lo sviluppo dei sistemi di timing di Galileo, la definizione e l'implementazione dei vari servizi. E' inoltre continuata l'attività di definizione algoritmi per nuove evoluzioni della facility di Galileo denominata Timing Service Provider, di cui INRiM coordina gli aspetti scientifici. Si è infine iniziato lo studio di nuovi servizi di timing per irrobustire e sostenere lo sviluppo e la penetrazione nel mercato dei servizi offerti da sistema Galileo.

*Risultati ottenuti.* 1 articolo in fase di stampa. Produzione di certificati di taratura.



## Appendice 1: Struttura organizzativa dell'INRiM

<b>Presidente:</b> Diederik Sybolt Wiersma
<b>Delega funzioni Presidente ai sensi dell'art. 6, comma 4 dello Statuto INRiM:</b> Vito Fericola
<b>Consiglio di Amministrazione:</b> Diederik Sybolt Wiersma; Vito Fericola, Ettore Vittone
<b>Consiglio Scientifico:</b> Diederik Sybolt Wiersma (Presidente), Claudia Cecchi, Miriam Vitiello, Enrico Dati, Candido Fabrizio Pirri, Martin J.T. Milton, Marco Genovese, Alessandro Germak
<b>Collegio dei revisori dei conti:</b> Fabio Cantale (Presidente); Raffaele Di Giglio (membro effettivo); Diego De Magistris (membro effettivo), Elisa-Leyla Al-Qaisi (membro supplente)
<b>Magistrato della Corte dei Conti, delegato al controllo sulla gestione:</b> Carlo Mancinelli (delegato titolare 2/2/2016-1/2/2020); Alessandra Olessina (delegato titolare dal 25/3/2020) Marcella Tomasi (delegato sostituto)
<b>Organismo Indipendente di Valutazione:</b> Gianpiero Ruggiero
<b>Comitato di indirizzo per la qualità:</b> Diederik Sybolt Wiersma; Moreno Tivan, Maria Luisa Rastello (fino al 29/2/2020); Pietro Asinari (dal 1/3/2020) Mauro Di Ciommo
<b>Direttore Scientifico:</b> Pietro Asinari (dal 1/3/2020); Maria Luisa Rastello (fino al 29/2/2020)  <i>Divisioni</i> Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto) Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà) Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico)
<b>Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto)</b> <b>Settori Scientifici Omogenei (SSO):</b> 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) <b>Divisione Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà)</b> <b>Settori Scientifici Omogenei (SSO):</b> 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) <b>Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico)</b> <b>Settori Scientifici Omogenei (SSO):</b> 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)
<b>Consiglio di Direzione:</b> Pietro Asinari (dal 1/3/2020); Maria Luisa Rastello (fino al 29/2/2020); Paola Tiberto; Michela Segà; Davide Calonico; Vittorio Basso; Ivo Pietro Degiovanni; Claudio Origlia; Marco Pisani

**Direzione generale** (Moreno Tivan)

<p><b>Direzione Affari Giuridici</b> (Anna Galletti) UO Gare e Contratti (Anna Galletti) UO Reclutamento (Paola Casale) UO Affari Legali (Rosaria Margiotta)</p>	<p><b>Direzione Tecnica</b> (<i>ad interim</i> Moreno Tivan) UO Servizi Tecnici (Claudio Rolfo) UO Logistica e Manutenzioni (Giovanni Di Palermo) UO Sistemi Informatici e Reti (Sandra Denasi)</p>	<p>UO Segreteria Generale (Emanuela Del Ross) UO Risorse Economiche (Ilaria Balbo) UO Trattamento Economico del personale (Cristina Chiaberto) UO Sviluppo Risorse Umane (Barbara Fracassi) UO Comunicazione (<i>ad interim</i> Barbara Fracassi) Servizio Gestione Qualità (Mauro Di Ciommo) Servizio di Prevenzione e Protezione (Renato Actis Foglizzo)</p>
--	---	--

## Appendice 2: I progetti

Tabella 25 – Progetti EMPIR (3<sup>a</sup> call) avviati nel 2017

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Energy	<b>16ENG04 MyRailS</b>	<b>Metrology for smart energy management in electric railway systems</b>	<b>462</b>	<b>2.562</b>
	<b>16ENG08 MICEV</b>	<b>Metrology for inductive charging of electric vehicles</b>	<b>418</b>	<b>2.115</b>
	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	<b>16NRM01 GRACE</b>	<b>Developing electrical characterisation methods for future graphene electronics</b>	<b>200</b>	<b>642</b>
	<b>16NRM02 SURFACE</b>	<b>Pavement surface characterisation for smart and efficient road lighting</b>	<b>160</b>	<b>522</b>
	16NRM04 MagNaStand	Towards an ISO standard for magnetic nanoparticles	85	660

Tabella 26 – Progetti EMPIR (4<sup>a</sup> 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
	<b>17FUN03 (USOQS)</b>	<b>Ultra-stable optical oscillators from quantum coherent and entangled systems</b>	<b>360</b>	<b>1.795</b>
	17FUN06 (SIQUST)	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 (FutureGridII)	Metrology for the next-generation digital substation instrumentation	102	1.589

	17IND12 (Met4FoF)	Metrology for the Factory of the Future	163	1.800
	<b>17IND14 (WRITE)</b>	<b>Precision Time for Industry</b>	<b>363</b>	<b>1.616</b>
Normative	<b>17NRM03 (EUCoM)</b>	<b>Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry</b>	<b>120</b>	<b>643</b>
	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 27 – Progetti EMPIR (5ª call) avviati nel 2019**

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Health	<b>18HLT06 (RaCHy)</b>	<b>Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept</b>	<b>400</b>	<b>2.058</b>
	<b>18HLT05 (QUIERO)</b>	<b>Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers</b>	<b>550</b>	<b>2.073</b>
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	<b>18NRM03 (INCIPIT)</b>	<b>Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation</b>	<b>60</b>	<b>434</b>
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

**Tabella 28 – Progetti EMPIR (6<sup>a</sup> call) avviati nel 2020**

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Energy	19ENG05 (NanoWires)	High throughput metrology for nanowire energy harvesting devices	140	2.176
	<b>19ENG06 (HEFMAG)</b>	<b>Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion</b>	<b>350</b>	<b>1.786</b>
	19ENG07 (Met4Wind)	Metrology for enhanced reliability and efficiency of wind energy systems	120	1.966
Environment	19ENV05 (STELLAR)	Stable isotope metrology to enable climate action and regulation	100	2.300
	19ENV08 (AEROMET II)	Advanced aerosol metrology for atmospheric science and air quality	100	2.290
Networks	19NET01 (AdvManuNet)	Support for a European Metrology Network on advanced manufacturing	51	441
	<b>19NET02 (EMN-Quantum)</b>	<b>Support for a European Metrology Network on quantum technologies</b>	<b>202</b>	<b>494</b>
Normative	19NRM04 (ISO-G-SCoPE)	Standardisation of structural and chemical properties of graphene	90	913
	<b>19NRM05 (IT4Q)</b>	<b>Measurement methods and test procedures for assessing accuracy of instrument transformers for power quality measurements</b>	<b>189</b>	<b>996</b>
	<b>19NRM06 (MeTISQ)</b>	<b>Metrology for testing the implementation security of quantum key distribution hardware</b>	<b>185</b>	<b>993</b>
	19NRM07 (HV-COM <sup>2</sup> )	Support for standardisation of high voltage testing with composite and combined wave shapes	71	988
Research Potential	19RPT01 (QuantumPower)	Quantum traceability for AC power standards	51	500
	19RPT02 (RealMass)	Improvement of the realisation of the mass scale	50	384
Support for Impact	<b>19SIP03 (CRS)</b>	<b>Climate Reference Station</b>	<b>50</b>	<b>81</b>
	19SIP06 (COAT)	Increasing the comparability of extreme air temperature measurements for meteorology and climate studies	25	133

**Tabella 29 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2020**

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
EC (H2020)	CLONETS-DS	start date: October 1, 2020 end date: September 30, 2022	172	2.963
CNES CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE	GRC MS3	start date: September 1, 2020 end date: August 31, 2021	25	999
NIM Japan	Superconducting Devices Characterization	start date: May 15, 2020 end date: July 31, 2020	12,5	12,5
EC (ERC H2020)	SLAQ	start date: May 1, 2020 end date: October 31, 2021	150	150
EC (H2020)	SUPERGALAX	start date: January 1, 2020 end date: December 31, 2022	370	2.456
EC (H2020)	METROFOOD PP (METROFOOD-RI Infrastructure for promoting metrology in food and nutrition - Preparatory Phase Project)	start date: December 1, 2019 end date: June 30, 2022	37	4.000
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
ETH - Swiss Federal Institute of Technology	SYNERGIA	start date: October 10, 2019 end date: October 10, 2020	196	196
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
ESA - Università di Pisa	Laser Interferometry Gauges and Accelerometer (LIG-A)	start date: May 1, 2019 end date: April 30, 2021	80	80
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	start date: October 1, 2018	95	1.154

	System (MIDAS)	end date: September 30, 2021		
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
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 30 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2020**

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
Università degli Studi di Pavia	LENA	start date: June 1, 2020 end date: June 30, 2021	31	31
MISE - Ministero dello Sviluppo economico	MISE CONTATORI	start date: January 1, 2020 end date: October 31, 2021	570	570
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
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	Novel quantum-based and	start date: January	395	395

(Progetto Premiale)	spintronic sensors for a traceable metrology (QUANTUMET)	1, 2018 end date: December 31, 2020		
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 (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

**Tabella 31 - Progetti di ricerca Regionali e Fondazioni attivi nel 2020**

Committente	Argomento	Durata	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
Fondazione CRT	ViRaDEP	start date: October 1, 2020 end date: January 8, 2023	22	22
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 Open Europe (HOME)	start date: March 15, 2018 end date: June 14, 2020	103	10.265

**Tabella 32 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2020**

Committente	Argomento	Durata	Valore totale (k€)
LEONARDO SPA	POP-PAYLOADS	start date: May 1, 2020 end date: October 31, 2020	24
LEONARDO SPA	“Tecnologie, architetture e standard per Fiber Optic Quantum Communications” (FIBEROPTIC)	start date: July 1, 2020 end date: June 30, 2021	50
OpenFiber spa	Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)	start date: January 1, 2020 end date: December 31, 2021	280
ORIGOSAT	GALIST (GNSS Smart Traceability	Dal 1/12/2020 al	180

	and Anti-spoofing)	31/07/2022	
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	ASTRA	start date: December 14, 2020 end date: November 6, 2021	105
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	ORION	start date: December 1, 2020 end date: May 31, 2021	30
RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE S.P.A.	Modelli di architettura e di gestione del sistema e delle reti elettriche e della regolazione che favoriscano l'integrazione di generazione rinnovabile e non programmabile, autoproduzione, accumuli, comunità dell'energia e aggregatori	start date: October 15, 2020 end date: December 14, 2021	31
TUV ITALIA S.R.L.	TUV	start date: July 13, 2020 end date: December 31, 2020	31,5
Thales Alenia Space Italia S.p.A.	JUICE	start date: July 14, 2020 end date: December 31, 2020	50
BITRON S.P.A.	Contratto interfacce tattili (BITRON_C_202004)	start date: January 23, 2020 end date: July 31, 2020	7,5
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
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
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
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
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

### Appendice 3: Convenzioni con altri Istituti e Università

Contraenti	Oggetto della convenzione	Durata/scadenza
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
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)
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
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
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
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) - 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
Società 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 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
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 e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" per il 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 e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" per il 35° ciclo	Contratto del 15/10/2019; scade il 31/10/2022
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
Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche (DSCB) dell'Università degli Studi di Torino	Accordo specifico di collaborazione scientifica avente a oggetto la ricerca scientifica nel settore di attività concernente l'European Metrology Network on Traceability in Laboratory Medicine (TraceLabMed) di EURAMET	Contratto 2/2020; scade il 09/12/2024
National Institute of Metrology (China)	Memorandum of Understanding di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico	Contratto 3/2020; scade il 25/11/2024
Dipartimento di Scienze Chirurgiche dell'Università di Torino (DISC)	Accordo specifico di collaborazione nel settore della caratterizzazione dei materiali, in particolare di materiali protesici e delle caratteristiche inerenti la valutazione dell'Appearance	Contratto 4/2020; scade il 9/12/2024
Società Italiana di Fisica (SIF) - Bologna	Convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata alla conoscenza, all'aggiornamento e allo stimolo dei	Contratto 23/2020; scade il 14/06/2023

	processi innovativi nello svolgimento di attività tecnico-scientifiche e di sviluppo congiunte	
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 2020/2021	Contratto 28/2020; scade il 31/10/2023
Politecnico di Torino	Convenzione per l'erogazione di contributo in denaro destinato al finanziamento dell'attività di ricerca mediante l'attivazione di una borsa di studio per il dottorato di Ricerca in Fisica (35° ciclo)	Contratto 29/2020; scade il 31/10/2022
CNR, Politecnico di Milano, Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento, Fondazione INPHOTEC di Pisa e Politecnico di Torino	Addendum 02 to It-FAB Memorandum of Understanding on new partner finalizzato alla costituzione della rete italiana di infrastrutture di micro e nano-fabbricazione "IT-FAB"	Contratto 30/2020
Università degli Studi di Firenze	Convenzione quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche, della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di comune attività dell'INRiM e dell'Università	Contratto 31/2020; scade il 4/08/2025
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse	Contratto 32/2020; scade il 21/09/2025
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Frascati (RM)	Convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse	Contratto 33/2020; scade il 12/08/2025
Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze	Accordo attuativo della convenzione quadro di collaborazione scientifica con il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze al fine di regolamentare il soggiorno del Dott. Martella presso l'Institut de Recherche de Chimie Paris nel quadro del Bando "Leonardo da Vinci" ed. 2020 - azione 2 - mobilità di giovani	Contratto 38/2020; scade il 31/12/2020
Google Singapore Pte Ltd e NPL	Agreement di collaborazione scientifica	Contratto 39/2020; scade a novembre 2021
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Attuativa della convenzione quadro di collaborazione scientifica su "studio della propagazione del campo elettromagnetico in strutture fotoniche tridimensionali disordinate"	Scade il 15/09/2022
Politecnico di Milano – Polo Regionale di Como	Rinnovo della convenzione di collaborazione scientifica	Scade il 10/06/2025
Consorzio Top-IX - Torino	Rinnovo della convenzione di collaborazione per la diffusione del segnale di tempo riferito a UTC attraverso la fibra ottica	Scade il 28/05/2023

## **Appendice 4: 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  $\mu$ 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 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 termostatati  
 Laboratorio Miscele gravimetriche e analisi organica  
 Laboratorio primario di igrometria e temperatura dell'aria

### ***Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie***

Laboratorio di analisi di superfici e spettroscopia vibrazionali  
 Laboratorio di metrologia alimentare  
 Laboratori presso il LENA (Laboratorio di Energia Nucleare Applicata) presso l'Università di Pavia  
 Laboratorio Batteri classe II  
 Laboratori Analisi Chimiche  
 Laboratori schermati per la metrologia elettrica in bassa frequenza  
 Laboratorio schermato misure in radiofrequenza  
 Laboratorio campione quantistico di resistenza  
 Laboratorio potenza ed energia elettrica  
 Laboratorio sviluppo AC/DC  
 Laboratorio schermato sistemi quantistici elettronici  
 Laboratori per i campioni fotometrici

Radiometria nell'ultravioletto.  
Laboratorio di radiometria laser e spettroradiometria  
Laboratorio materiali ottici  
Laboratori di radiometria criogenica fino a 40 mK  
Laboratorio stati entangled in polarizzazione  
Laboratorio phase quantum imaging  
Laboratorio plenoptic quantum imaging  
Laboratorio quantum weak measurements  
Laboratorio IR colour center SPS  
Laboratorio metrologia quantistica a 1550 nm  
Laboratorio criogenico per SPS  
Laboratorio 1550 SPs e taratura  
Laboratorio ODMR  
Laboratorio microscopio quantistico in luce strutturata  
Laboratori della scala di tempo  
Laboratorio campione primario di frequenza a fontana di Cs.  
Laboratorio orologio ottico all'Iterbio  
Laboratorio orologio ottico allo Stronzio  
Laboratorio pettini ottici di frequenza  
Laboratorio campioni compatti di frequenza a microonda  
Laboratorio del link ottico di frequenza/IQB  
Laboratorio GNSS Galileo  
Laboratorio Radionavigazione  
Laboratorio di Elettronica  
Laboratorio Demetra Disseminazione Servizi di Tempo  
Laboratorio molecole fredde presso il LENS  
Laboratorio miscele ioni e atomi freddi presso il LENS

## Appendice 5: 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>
ANVUR	<i>Agenzia Nazionale per la Valutazione della Ricerca</i>
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CCAUV	<i>Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration</i>
CCEM	<i>Consultative Committee for Electricity and Magnetism</i>
CCL	<i>Consultative Committee for Length</i>
CCM	<i>Consultative Committee for Mass and Related Quantities</i>
CCPR	<i>Consultative Committee for Photometry and Radiometry</i>
CCQM	<i>Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology</i>
CCT	<i>Consultative Committee for Thermometry</i>
CCTF	<i>Consultative Committee for Time and Frequency</i>
CdA	<i>Consiglio di Amministrazione</i>
CdD	<i>Consiglio di Direzione</i>
CEI	<i>Comitato Elettrotecnico Italiano</i>
CEN	<i>Comitato Europeo di Normazione</i>
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i>
CGPM	<i>Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure</i>
CIPM	<i>Comitato Internazionale Pesi e Misure</i>
CIRP	<i>International Academy for Production Engineering</i>
CMC	<i>Calibration and Measurement Capabilities</i>
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CNES	<i>Centre National d'Études Spatiales</i>
CNR	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
CODIGER	<i>Conferenza permanente dei Direttori Generali degli Enti Pubblici di Ricerca Italiani</i>
CS	<i>Consiglio Scientifico</i>
CUG	<i>Comitato Unico di Garanzia</i>
CUNA	<i>Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo</i>
DAP	<i>Distretto Aerospaziale Piemonte</i>
EA	<i>European co-operation for Accreditation</i>
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay System</i>
EMN	<i>European Metrology Networks</i>
EMP	<i>European Metrology Partnership</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>
EPR	<i>Ente Pubblico di Ricerca</i>
ERC	<i>European Research Council</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes</i>
FOE	<i>Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca</i>

GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRC	<i>Galileo Reference Center</i>
KCDB	<i>Key Comparison Data Base</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEN	<i>Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris</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>
IR	<i>Infrastruttura</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITS-90	<i>International Temperature Scale 1990</i>
KC	<i>Key Comparison</i>
ILC	<i>Interlaboratory Comparison</i>
LATFC	<i>Laboratorio alte tensioni e forti correnti</i>
LENS	<i>European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy</i>
LNE	<i>Laboratoire National de Métrologie et d'Essais</i>
LOVAG	<i>Low Voltage Agreement Group</i>
MESAP	<i>Meccatronica e sistemi avanzati di produzione</i>
METRICA	<i>METROlogy Institutional CAatalog</i>
MISE	<i>Ministero dello Sviluppo Economico</i>
MRA	<i>Mutual Recognition Arrangement</i>
MIUR	<i>Ministero dell'Università e della Ricerca</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NMI	<i>National Metrology Institute</i>
NPL	<i>National Physical Laboratory</i>
OdR	<i>Organismo di Ricerca</i>
OS	<i>Open Science</i>
PAP	<i>Piano Triennale di Azioni Positive</i>
PCTO	<i>Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento</i>
PMI	<i>Piccola Media Impresa</i>
PNR	<i>Programma Nazionale per la Ricerca</i>
POA	<i>Policy Open Access</i>
PolITO	<i>Politecnico di Torino</i>
PRIN	<i>Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale</i>
PTA	<i>Piano Triennale di Attività</i>
PTB	<i>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i>
PTP	<i>Proficiency Testing Provider</i>
QKD	<i>Quantum Key Distribution</i>
RilTeM	<i>Rilancio della Terza Missione</i>
RMO	<i>Organismo Metrologico Regionale</i>
RSPF	<i>Responsabile Servizio Prevenzione e Protezione</i>
SC	<i>Supplementary Comparison</i>
SCDS	<i>Settore interdivisionale Coordinamento e Divulgazione Scientifica</i>
SGQ	<i>Sistema di Gestione per la Qualità</i>

<i>SI</i>	<i>Sistema Internazionale</i>
<i>SRA</i>	<i>Strategic Research Agenda</i>
<i>SSO</i>	<i>Settore Scientifico Omogeneo</i>
<i>TC-Q</i>	<i>Comitato Tecnico per la Qualità</i>
<i>TSP</i>	<i>Galileo Time Service Provider</i>
<i>TTO</i>	<i>Technology Transfer Officer</i>
<i>UE</i>	<i>Unione Europea</i>
<i>UNI</i>	<i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione / Ente Nazionale di Unificazione</i>
<i>UniTO</i>	<i>Università degli Studi di Torino</i>
<i>UO</i>	<i>Unità Organizzativa</i>
<i>UTC</i>	<i>Coordinated Universal Time</i>
<i>UTT</i>	<i>Ufficio di Trasferimento Tecnologico</i>
<i>VQR</i>	<i>Valutazione della Qualità della Ricerca</i>