

***PIANO TRIENNALE DI ATTIVITA' 2019-2021***

***PARTE II: parte generale  
e relazione complessiva***

*Approvato dal CdA il 19 dicembre 2019*

## INDICE

<b>Premessa</b> .....	<b>4</b>
<b>1 - STATO DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ RELATIVE AL 2018</b> .....	<b>5</b>
1.1 - ORGANIZZAZIONE E GESTIONE SCIENTIFICA.....	5
1.2 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018.....	6
1.2.1 - QUADRO DI RIFERIMENTO E INTERAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI.....	6
1.2.2 - COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI.....	6
1.2.3 - CONSORZI E CONVENZIONI CON MINISTERI, REGIONI, UNIVERSITÀ E ALTRI ENTI.....	9
1.2.4 - FINANZIAMENTI DA CONTRATTI NEL 2018.....	10
1.2.5 - FONDI PREMIALI MIUR PER PROGETTI DI RICERCA.....	13
1.2.6 - INFRASTRUTTURE DI RICERCA.....	17
1.2.6.1 – EURAMET - European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR).....	17
1.2.6.2 – EURAMET - European Metrology Networks (EMN).....	18
1.2.6.3 - Galileo Timing Research Infrastructure.....	19
1.2.6.4 - Link Italiano Tempo e Frequenza (LIFT).....	20
1.2.6.5 - Nanofacility Piemonte.....	21
1.2.6.6 - Piemonte Quantum Enabling Technologies (PiQuET).....	22
1.2.6.7 - Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA).....	24
1.2.7 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 IN RICERCA E SVILUPPO.....	26
1.2.8 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 NEL RUOLO NMI.....	30
1.2.9 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 NELL'ATTIVITÀ DI KNOWLEDGE TRANSFER.....	31
1.3 - RISULTATI 2018 E CONFRONTO CON ANNI PRECEDENTI.....	32
1.4 – RISORSE DI PERSONALE PER L'ATTIVITÀ SCIENTIFICA.....	35
<b>2 - OBIETTIVI GENERALI E STRATEGICI DA CONSEGUIRE NEL TRIENNIO</b> .....	<b>36</b>
2.1 - FINALITÀ E OBIETTIVI DELLE DIVISIONI.....	36
2.2 - RICERCA E SVILUPPO.....	39
2.3 - RUOLO NMI.....	48
2.4 - KNOWLEDGE TRANSFER.....	55
<b>3 - QUADRO DELLE COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA E DELLE PARTECIPAZIONI</b> .....	<b>59</b>
<b>4 - INFRASTRUTTURE DI RICERCA INTERNAZIONALI</b> .....	<b>62</b>
4.1 – EURAMET - EUROPEAN METROLOGY PROGRAMME FOR INNOVATION AND RESEARCH (EMPIR).....	62
4.2 – EURAMET - EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN).....	64
4.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE.....	65
4.4 - LINK ITALIANO TEMPO E FREQUENZA (LIFT).....	66
4.5 - NANOFACILITY PIEMONTE.....	67
4.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET).....	67
4.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA).....	68
<b>5 - ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE</b> .....	<b>70</b>
5.1 - FINALITÀ E OBIETTIVI.....	70
5.2 – DIFFUSIONE DELLA CULTURA SCIENTIFICA/METROLOGICA.....	70
5.2.1 - ATTIVITÀ DI ALTA FORMAZIONE: COLLABORAZIONE AD ATTIVITÀ FORMATIVE ISTITUZIONALI SVOLTE DALLE UNIVERSITÀ.....	71
5.2.2 - ATTIVITÀ DI ALTA FORMAZIONE: FORMAZIONE CONTINUA O PERMANENTE.....	71
5.2.3 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: PARTECIPAZIONE A COMITATI E COMMISSIONI.....	72
5.2.4 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: VISITE SCUOLE/PRIVATI AI LABORATORI INRIM E COLLABORAZIONI CON LE SCUOLE.....	72
5.2.5 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: ORGANIZZAZIONE DI EVENTI PUBBLICI.....	72
5.2.6 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: COMUNICAZIONE E DIVULGAZIONE RIVOLTA AL GRANDE PUBBLICO....	73
5.2.7 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: PRODUZIONE E GESTIONE DI BENI CULTURALI.....	73
5.3 - SERVIZI CONTO TERZI.....	73
5.4 - BREVETTI.....	74
5.5 – IMPRESE SPIN OFF.....	74
<b>6 - IL CAPITALE UMANO</b> .....	<b>75</b>
6.1 – SOSTENIBILITÀ DEL COSTO DEL PERSONALE E DEFINIZIONE DEL PUNTO ORGANICO.....	75
6.1.1 – ORGANICO EFFETTIVO ED ORGANICO TEORICO.....	76
6.2 - PROGRAMMAZIONE DEL FABBISOGNO DEL PERSONALE NEL TRIENNIO 2019-2021.....	83

6.2.1 - I CRITERI DELLA PROGRAMMAZIONE .....	83
6.2.2 - VALORIZZAZIONE E RICONOSCIMENTO DEL MERITO ECCEZIONALE .....	83
6.2.3 - IL SUPERAMENTO DEL PRECARIATO NELLE PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI .....	84
<b>7 - LE RISORSE FINANZIARIE.....</b>	<b>92</b>

## TABELLE

<b>Tabella 1 - Mappatura dei settori metrologici INRIM.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabella 2 - INRIM – CMC .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabella 3 – Progetti internazionali ed europei su contratto avviati e ancora in corso nel 2018 .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabella 4 – Progetti nazionali su contratto avviati e ancora in corso nel 2018.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabella 5– Finanziamenti ricevuti nel quinquennio 2010-2016 e già acquisiti per i prossimi anni .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabella 6 –Pubblicazioni nel periodo 2016-2018 .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabella 7 – Distribuzione delle pubblicazioni 2018.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabella 8 - Knowledge transfer - altri prodotti di valorizzazione applicativa .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabella 9 - Knowledge transfer - formazione .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabella 10 - Personale TI (al 31/12/2018) .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabella 11 – Altro personale.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabella 12 –Progetti EMPIR in avvio nel 2019.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabella 13 - Collaborazione per anno ad attività formative istituzionali svolte dalle università .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabella 14 - Formazione continua o permanente per anno.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabella 15 - Attività di taratura, misura e prova prevista per il triennio 2019-2021 .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabella 32 – Disponibilità .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabella 33 – Spese .....</b>	<b>92</b>

## Premessa

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, 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.

Il confronto con le principali economie continentali mette in luce una carenza strutturale della dimensione metrologica italiana rispetto alle corrispondenti istituzioni nazionali europee, sia in rapporto al prodotto interno lordo del Paese, sia in rapporto al fatturato dell'industria manifatturiera.

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.

Il Piano di fabbisogno del personale 2019-2021, presentato in sintesi nelle pagine che seguono, risponde a questa logica; innanzitutto per riportare la consistenza del personale dell'ente ad un livello paragonabile a quanto previsto al momento della sua istituzione, ipotizzando nel triennio una ulteriore, ma contenuta, dinamica espansiva.

È ben chiara tuttavia la consapevolezza che solo un intervento forte e mirato delle Istituzioni e del Governo, che consentisse di allineare la dimensione della metrologia italiana a quella dei grandi Paesi europei, sarebbe in grado di creare le condizioni per sostenere la crescita tecnologica di un moderno Paese manifatturiero.

# 1 - STATO DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ RELATIVE AL 2018

## INRIM - Compiti e missione

Ai sensi del decreto istitutivo<sup>1</sup> e dello statuto predisposto secondo il D.Lgs n. 218/2016, l'INRIM svolge e promuove la ricerca nell'ambito della metrologia, sviluppa i campioni e i metodi di misura più avanzati e le relative tecnologie, mediante i quali assolve alle funzioni di istituto metrologico primario ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273.

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

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

## INRIM - Organizzazione e infrastrutture

L'INRIM ha sede a Torino in Strada delle Cacce 91 e si distribuisce su un'area di circa 13 ettari, su cui, in fasi successive, sono stati realizzati un totale di 13 edifici fuori terra e una struttura completamente interrata (galleria) che sviluppano nel loro complesso una superficie utile di 37.000 m<sup>2</sup>. La proprietà dell'intera area è del Comune di Torino e il diritto di superficie scadrà nel 2077. A questa superficie sono da aggiungere 11.000 m<sup>2</sup> della sede di Corso M. D'Azeglio. I laboratori adibiti alle diverse attività di ricerca e ai servizi di taratura, misura, prova e certificazione coprono il 70% della superficie utile. Il restante 30% è destinato a uffici, biblioteca, amministrazione, officine, servizi e infrastrutture di supporto alle attività.

Altre strutture sono dislocate a Pavia (all'interno del campus dell'Università degli Studi - Dip. di Chimica, con cui il personale dell'INRIM condivide i laboratori) e a Firenze (all'interno dell'European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy – LENS, in cui sono a disposizione del personale dell'INRIM alcuni laboratori ad uso esclusivo e altri in condivisione con il Lens e l'Università di Firenze).

### 1.1 - ORGANIZZAZIONE E GESTIONE SCIENTIFICA

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

#### ***Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)***

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

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

---

1

### **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.

## **1.2 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018**

### **1.2.1 - QUADRO DI RIFERIMENTO E INTERAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI**

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

### **1.2.2 - COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI**

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

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

Nell'ambito della Convenzione del Metro, l'INRIM partecipa alle attività del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM) e i relativi Comitati Consultivi (CC). In particolare, l'INRIM partecipa, attraverso propri rappresentanti designati, a 8 dei 10 Comitati Consultivi del CIPM. Il Direttore scientifico dell'INRIM è un componente del CIPM e Presidente del Comitato Consultivo di Fotometria e Radiometria.

La tabella seguente è la mappatura dei settori metrologici coperti dall'Istituto in parziale riferimento ai settori individuati a livello internazionale (Comitati consultivi del CIPM):

**Tabella 1 - Mappatura dei settori metrologici INRIM**

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

Dal 1999 l'INRIM aderisce al *CIPM Mutual Recognition Arrangement (MRA<sup>2</sup>)* che regola il mutuo riconoscimento dei campioni nazionali e dei certificati di taratura e di misura emessi dagli NMI dei Paesi firmatari, ponendo le basi per l'equivalenza delle misure a livello internazionale.

L'adesione al CIPM-MRA coinvolge notevoli risorse umane, strumentali e finanziarie, allo scopo di mantenere e migliorare le *Calibration and Measurement Capabilities (CMC)* pubblicate nell'appendice C del *Key Comparison Data Base (KCDB)* del BIPM (<http://www.bipm.org/kcdb>). Nell'appendice sono registrati i risultati dei confronti chiave e supplementari e le capacità di misura degli NMI, riconosciuti e validati internazionalmente dal CIPM. A febbraio 2019, nel database del BIPM, l'INRIM risulta aver prodotto 402 CMC (393 in fisica e 9 in chimica).

**Tabella 2 - INRIM – CMC**

<i>Field</i>		<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	108	119	119	119	115
L	Length	43	43	42	43	43
M	Mass	98	69	68	61	61
PR	Photometry and Radiometry	23	23	23	23	20
QM	Amount of substance	12	12	10	9	9
T	Thermometry	62	76	97	97	100
TF	Time and Frequency	14	14	14	12	12
<b>Totals</b>		<b>402</b>	<b>398</b>	<b>415</b>	<b>406</b>	<b>402</b>

A livello Europeo, INRIM partecipa a **EURAMET** (<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. L'EURAMET coordina la cooperazione nella ricerca metrologica, nella riferibilità delle misurazioni alle unità SI, nel riconoscimento internazionale dei campioni e delle CMC dei propri membri. L'INRIM partecipa a 11 dei 12 Comitati tecnici EURAMET. Dal 2016, il Direttore Scientifico dell'ente è Vice – Presidente dell'EURAMET.

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

Nel corso del 2018, l'Assemblea Generale di EURAMET ha costituito sei European Metrology Networks (EMN), con il fine di rispondere alle esigenze della metrologia europea in modo coordinato, formulando strategie comuni in ambiti quali la ricerca, le infrastrutture, il trasferimento di conoscenze e lo sviluppo di servizi. INRIM partecipa a cinque dei sei EMN costituiti, coordinando uno: Maggiori dettagli a proposito sono forniti nella sezione "Infrastrutture di ricerca".

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

La riunione annuale del TC-Quality si è tenuta dal 17 al 19 aprile 2018 a Parigi (il 17 si è tenuto lo Steering committee meeting, il 18 ed il 19 si è tenuta la riunione plenaria del TC-Q). Nel corso del meeting, il Sistema di Gestione per la Qualità dell'INRIM ha ottenuto una valutazione positiva.

INRIM partecipa inoltre al progetto EURAMET 1123 "*On site peer review*", dal 2009-10-01, in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali di Spagna (CEM – *Centro Español de Metrología*) e Portogallo (IPQ - *Instituto Português da Qualidade*) al fine di mettere in atto un piano di Peer visits annuali tra gli istituti partecipanti al progetto. Nel dicembre 2018 l'INRIM ha sostenuto con successo la sua *peer review* annuale, condotta dagli esperti degli istituti CEM e IPQ, che hanno esaminato le attività relative alle aree metrologiche della Portata (di liquidi e di gas), della Fotometria (materiali), dell'Acustica e degli ultrasuoni.

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

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

Particolarmente significativa, infine, la convenzione con l'Istituto di Radioastronomia di Bologna dell'INAF (IRA/INAF) e il National Institute of Information and Communications Technology (NICT) di Tokyo, finalizzata a installare presso il NICT e presso la sede di Medicina (BO) dell'IRA/INAF una coppia di antenne radioastronomiche innovative, con le quali studiare il confronto tra l'orologio ottico a Itterbio dell'INRIM e quello allo Stronzio del NICT, collegati entrambi alle antenne attraverso un link coerente in fibra ottica.

### 1.2.3 - CONSORZI E CONVENZIONI CON MINISTERI, REGIONI, UNIVERSITÀ E ALTRI ENTI

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

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

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

Inoltre sono attive le seguenti associazioni con organismi nazionali:

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

Per il 2018 l'INRIM ha riconfermato l'adesione al consorzio **TOP-IX**, costituito al fine di creare e gestire un NAP (Neutral Access Point, altrimenti denominato Internet Exchange – IX) per lo scambio del traffico Internet nell'area del Nord Ovest. Dal 2017 un ricercatore INRIM è presidente del consorzio.

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

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

A partire dal 2018 l'INRIM ha aderito al **Consorzio Cineca**, un Consorzio Interuniversitario formato da 70 università italiane, 8 Enti di Ricerca Nazionali (tra cui CNR, INAF, INFN, OGS) e il MIUR; è attualmente considerato il maggiore centro di calcolo in Italia e uno dei più importanti a livello mondiale.

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

Sono attive all'INRIM 46 convenzioni con altri Istituti e Università, nazionali e internazionali, 12 delle quali, descritte più in dettaglio qui di seguito, sono state stipulate nel 2018.

- Università del Piemonte Orientale “Amedeo Avogadro” (UPO) – Vercelli: convenzione di collaborazione scientifica nei settori delle nanoscienze, della chimica dei polimeri e della metrologia;
- Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) - Bergamo: convenzione di collaborazione per l'esecuzione di prove su apparecchiature elettriche di bassa tensione industriali finalizzate alla certificazione; accordo per regolamentare le attività che il Laboratorio Alte Tensioni & Forti Correnti (LATFC) dell'INRIM svolgerà su incarico dell'ACAE;
- 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;
- Consortium GARR - Roma: protocollo d'intesa 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;
- 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;
- Politecnico di Torino: accordo di collaborazione scientifica finalizzato a progettare e realizzare la prima edizione di un Master universitario di II livello in lingua inglese denominato “Photonics for Data Networks and Metrology”, da realizzare nell'a.a. 2018/2019;
- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) – Roma: accordo di programma che ha per oggetto lo sviluppo della ricerca scientifica e della formazione professionale nei settori riguardanti la micro e nano-fabbricazione associata alla microscopia ionica ed elettronica, il self-assembly di copolimeri a blocchi e di nano-sfere, l'impiego di fasci ionici e nano-lavorazioni in dispositivi quantistici e rivelatori di radiazione;
- Istituto Nazionale di Ottica del CNR (INO-CNR) – Firenze: convenzione operativa per lo sviluppo della ricerca scientifica e tecnologica negli ambiti degli orologi ottici e sistemi fisici ad alta precisione, della spettroscopia ad alta precisione e delle comunicazioni quantistiche;
- Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR (ITC-CNR) - San Giuliano Milanese (MI): convenzione operativa per lo sviluppo della ricerca scientifica e tecnologica riguardante il calorimetro adiabatico modulato e le proprietà termodinamiche di fluidi puri e miscele.

#### **1.2.4 - FINANZIAMENTI DA CONTRATTI NEL 2018**

Le tabelle seguenti riassumono i dati relativi ai progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2018, distinguendoli per tipologia. Vengono riportati la quantità e il valore del cofinanziamento in riferimento all'intera durata del contratto.

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

**Tabella 3 – Progetti internazionali ed europei su contratto avviati e ancora in corso nel 2018**

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.
EURAMET (UE): EMPIR	16	2.607	26	4.826	42
H2020 (UE)	2	95	3	1.759	5
Internazionali	1	99	5	297	6
<b>Totale</b>	<b>19</b>	<b>2.801</b>	<b>34</b>	<b>6.882</b>	<b>53</b>

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

L'INRIM ha partecipato alla prima *call* EMPIR (dedicata al tema Industry), avviando 9 progetti nel 2015 (di cui uno coordinato da ricercatori dell'Istituto), per un finanziamento totale di circa 1,5 M€, questi progetti si sono conclusi nel 2018.

Alla seconda *call* EMPIR (sviluppata sui temi Health, SI Broader Scope e Research Potential) l'Istituto ha contribuito con 9 progetti, avviati nel 2016 e tutt'ora in corso, per i quali ha ottenuto un finanziamento di 1,6 M€

Con la terza *call* EMPIR, dedicata ai temi Energy, Environment, Normative, Research Potential e Support for Impact, l'INRIM ha invece avviato 8 progetti nel 2017; l'Istituto ne coordina 4 ed ha ottenuto un finanziamento totale di circa 1,8 M€

Nel 2018 sono stati avviati 16 nuovi progetti per la quarta *call* EMPIR, in riferimento ai temi Fundamental, Industry, Normative e Research Potential; il finanziamento EURAMET dedicato a questi progetti è di circa 2,6 M€, 3 di questi progetti sono coordinati dall'Istituto.

Nell'ambito di *HORIZON 2020*, il Programma Quadro europeo per la ricerca e l'innovazione lanciato dalla Commissione Europea per il periodo 2014-2020, nel 2018 sono proseguite le attività riguardanti il progetto "*Quantum sensors - from the lab to the field (Q-SENSE)*" e "*CLOCK NETWORK SERVICES: Strategy and innovation for clock services over optical-fibre networks (CLONETS)*"

E' ancora in corso il progetto ERC della Commissione Europea "*An ultracold gas plus one ion: advancing Quantum Simulations of in-and-out-equilibrium many-body physics (PlusOne)*", finanziato dalla CE per un valore complessivo di 1.496 k€ in 5 anni.

Sono invece stati avviati nel 2018 il progetto "*Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)*" e il progetto ERC "*Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)*".

In ambito internazionale è proseguita l'attività relativa al progetto "*Analysis, design and implementation of an End-to-End QKD link over a 400 km Distance (QKD)*", in collaborazione con la NATO e le Università della California. Sempre in ambito NATO è stato avviato il progetto "*Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)*" che ha ottenuto un finanziamento di circa 100 k€

Si è concluso invece nel 2018 il progetto "*Open-Source Modeling Environment and Benchmark for Magneto-Mechanical Problems (OSMAG)*" svolto per la TUT Foundation (Tampere University of Finland).

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

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

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

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

Sempre in ambito ESA, si è concluso nel 2018 il progetto "*ISS Space Optical Clock (I-SOC)*", mentre è ancora attivo il progetto "*Compact Optical Attitude Transfer System (COATS CCN 1)*".

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

**Tabella 4 – Progetti nazionali su contratto avviati e ancora in corso nel 2018**

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.
Nazionali (inclusi MIUR)	2	100	7	2.257	9
Premiali, SEED e Strategici	4	1.448	11	2.621	15
Regionali e Fondazioni	3	2.843	1	49	4
Industriali	9	406	6	2.704	15
<b>Totale</b>	<b>18</b>	<b>4.797</b>	<b>25</b>	<b>7.631</b>	<b>43</b>

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MIUR (PRIN, SIR e FARE), nel 2018 sono proseguiti il progetto PRIN "*HG Doppler Spectroscopy*" (*A new primary method of gas thermometry based upon Doppler-broadened mercury spectroscopy in the UV region*) e il progetto "*ULTRACRYSTAL*" (*Ultracold ion crystals in a quantum*) finanziato dal MIUR con i bandi FARE (Framework per l'Attrazione e il Rafforzamento delle Eccellenze per la Ricerca in Italia); si è invece concluso il progetto SIR "*ULTRACOLD PLUS*" (*Ultracold atoms plus ions: new frontiers in hybrid quantum systems*).

Sempre a livello nazionale, sono proseguiti il progetto "*Food authenticity: metodi analitici innovativi a tutela del consumatore*" (finanziato dal Ministero della Salute) e i progetti "*Distribuzione di segnali T/F campione in fibra ottica per applicazioni spaziali e a supporto del timing di Galileo (DTF-Galileo)*" e "*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)*" (finanziati dall'Agenzia Spaziale Italiana).

Si è invece concluso il progetto "*Sviluppo delle competenze italiane per l'esperimento FORUM-Far-Infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring (SCIEF)*" commissionato dall'ASI.

Nel 2018 l'INRIM ha avviato due progetti, rispettivamente con la società Hal Service srl e con il Consorzio TOP-IX di Torino: i due progetti riguardano attività di ricerca nell'ambito del progetto POR FESR "Ottimizzazione del tempo" (OTTEMPO) promosso dalla Regione Piemonte, progetto di cui la società e il consorzio sono partner; il finanziamento ottenuto dall'INRIM è complessivamente di circa 100 k€.

Con la Regione Piemonte l'Istituto ha avviato nel 2018 tre nuovi progetti.

I seguenti due progetti sono co-finanziati per un totale di 2.740 k€ attraverso il Bando "INFRA-P "Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche" :

- *PIQUET - Piemonte Quantum Enabling Technology*, che ha come obiettivo la nascita di una nuova Infrastruttura di Ricerca (coordinata da INRIM, con la partecipazione di Politecnico di Torino e Università di Torino) dedicata a due ambiti fondamentali delle Tecnologie Quantistiche, ovvero lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati e gli orologi atomici e comunicazione quantistica (distribuite sul territorio tramite fibra ottica).

- *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare*, che 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.

Il terzo progetto, *Hierarchical Open Manufacturing Europe (HOME)*, è stato finanziato dalla Regione Piemonte per un totale di 103 k€.

Si è invece concluso il progetto "*STEMREF*" (*Materiali di riferimento per migliorare l'affidabilità delle terapie cellulari*), finanziato dalla Fondazione CRT (Torino).

In ambito industriale, sono ancora in corso i progetti "*Time Service Provider (TSP GSOp)*" finanziato da GNSS tramite Spaceopal per la somma di 1.864 k€, "*Galileo Exploitation Phase System and Service Support Activities (FOC Exploitation)*" finanziato da ESA tramite Thales Alenia Space Italia per l'ammontare di 610 k€, "*Time Transfer Modem (TTM)*" con un finanziamento di 75 k€ da Thales Alenia Space Italia.

Sono attivi anche i progetti "*Ricerca e validazione di condotti sbarre e loro accessori*" commissionato da IAM S.r.l. (155 k€) e "*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.

Tra i nuovi progetti di natura industriale finanziati a partire dal 2018 si segnalano, in ambito europeo i progetti "*LISA*" (commissionato da European Space Agency e Thales Alenia Space Italia), "*Three-Cornered-Hat et phasemètre multicanal*" (commissionato dall'École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques – Besançon, Francia), "*Galileo Time Geodetic Validation Facility-Full Operational Capability - Operation Extension 2018*" (finanziato dall'European Space Agency, tramite la società spagnola GMV) e il progetto "*R&D collaboration for an extended characterisation of magnetic steel sheets under alternating, rotational and distorted flux (VOITH)*" (commissionato dalla Voith Hydro Holding GmbH & Co.

Nel 2018 sono stati avviati i progetti "*Sviluppo di un sistema di monitoraggio per il processo di saldatura con il sistema ECOWELD+*" (commissionato da LASERLAM S.r.l.), "*Upgrade del sistema di misura TIREZIA e ripristino della funzionalità di misura della luminanza*" (commissionato da ANAS S.p.A) e "*Modellizzazione, analisi e realizzazione di uno smorzatore acustico innovativo per rubinetteria sanitaria (ZeroNoise)*" (commissionato da TecnoLab del Lago Maggiore S.r.l.); il finanziamento totale ricevuto dall'INRIM per questi progetti è di circa 400 k€.

### **1.2.5 - FONDI PREMIALI MIUR PER PROGETTI DI RICERCA**

Fino al 2017 sono stati di particolare importanza i Fondi Premiali assegnati annualmente dal MIUR su progetti di ricerca selezionati per merito. Il MIUR, infatti, 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.

Con il Decreto MIUR n. 291 del 3 maggio 2016 il MIUR ha predisposto il finanziamento Premiale complessivo di k€ 4.833,959, assegnando all'INRIM 2.154,861 k€ sulla base dei risultati della Valutazione della Qualità della Ricerca 2004-2010; e 2.679,098 k€ destinati al finanziamento di specifici progetti di ricerca, anche in collaborazione con altri enti. In quest'ultimo ambito, INRIM è coordinatore di due progetti (il primo concluso nel 2017, il secondo ancora in corso) per un finanziamento complessivo di k€ 1.140 circa; il resto della cifra disponibile è stata trasferita ai partner (INAF, ASI e CNR). Segue una breve descrizione del progetto ancora in corso:

*Q-SecGroundSpace - Intermodal secure quantum communication on ground and space* - La sicurezza nelle comunicazioni è una risorsa strategica per molti aspetti della società moderna. Negli ultimi anni è emerso che gli standard attuali delle comunicazioni sicure non sono sufficienti, come mostrato dalle massicce violazioni della riservatezza dei contenuti e al controllo generalizzato dello scambio di dati e metadati. Il progetto Q-SecGroundSpace ha come obiettivo quello di sviluppare la sinergia italiana nelle nuove tecnologie per le comunicazioni sicure basate sui principi della Meccanica Quantistica e di fornire una piattaforma che permetta di collegare in modo sicuro utenti connessi da fibre ottiche con altri in grado di effettuare collegamenti satellitari. La prima macro-attività ambisce alla progettazione e realizzazione di una piattaforma QKD in fibra, di una spaziale e della loro connessione per garantire operatività intermodale. In

questa prima macro-attività è anche compreso lo sviluppo dell'infrastruttura metrologica per la caratterizzazione dei dispositivi a singolo fotone dei sistemi per la QKD. Nella seconda macro-attività figurano invece attività di investigazione, sviluppo di nuovi componenti e dispositivi a singolo fotone per la QKD di prossima generazione, con particolare riferimento a sorgenti e rivelatori di singolo fotone altamente innovativi e con prestazioni migliorate rispetto allo stato dell'arte.

Sempre nell'ambito della Premialità 2016, INRIM partecipa anche, in qualità di partner, a 3 progetti avviati nel 2017, per un finanziamento complessivo pari a k€ 518 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti:

*LABMED - Laboratorio multidisciplinare del Mediterraneo.* L'attività di ricerca in ambiente marino profondo assume sempre una maggiore rilevanza a livello internazionale non solo per ragioni puramente scientifiche ma anche per le opportunità tecnologiche ed energetiche che il mare è in grado di fornire. L'economia del mare, lo sfruttamento delle forme energetiche e delle risorse marine, soprattutto in ambiente profondo sono dei settori a forte sviluppo negli ultimi anni. L'INFN, insieme all'INGV, da anni conducono, per ragioni scientifiche, attività di ricerca in ambiente marino profondo che ha permesso di sviluppare delle infrastrutture cablate sottomarine uniche nel loro genere nel bacino del Mediterraneo. D'altra parte, l'INRIM da anni conduce nell'ambito della metrologia primaria internazionale ricerche sull'uso della fibra ottica per distribuire segnali campioni di tempo e frequenza e per ottenere nuovi sensori per parametri geofisici quali vibrazioni e temperatura. In particolare l'INFN ha implementato una stazione sottomarina al largo delle coste di Portopalo di Capo Passero costituita da un laboratorio di terra dal quale è possibile gestire le infrastrutture sottomarine (alimentazione ed acquisizione dati), un cavo elettro ottico sottomarino della lunghezza di circa 100 km, costituito da 20 fibre ottiche e un conduttore elettrico. Il cavo elettro ottico connette la stazione di terra con il nodo sottomarino di Portopalo di Capo Passero posizionato a 3.500 metri di profondità, ad una distanza dalla costa di circa 80 km. Il sito sottomarino attualmente sta vedendo l'installazione del primo blocco del telescopio sottomarino per la rivelazione di neutrini astrofisici di alta energia KM3NeT e rappresenterà il secondo nodo cablato del progetto EMSO (mediante l'installazione di un nodo di diramazione – Junction Box, connesso al cavo elettro ottico sottomarino). Il progetto LABMED prevede la realizzazione di una rete di laboratori e stazioni di monitoraggio sottomarino per potenziare la dotazione delle infrastrutture di ricerca del laboratorio distribuito per la ricerca sul mare localizzato in Sicilia e gestito da INFN ed INGV.

*MATER - Materiali innovativi e tecnologie efficienti per le energie rinnovabili.* Il progetto intende dare impulso alla transizione del sistema energetico del nostro Paese verso una progressiva e continua decarbonizzazione delle fonti energetiche e una sempre più consistente produzione di energia distribuita. Il progetto si propone obiettivi coerenti con la programmazione Comunitaria e Nazionale in materia di "Energia, sicura, pulita ed efficiente". INRIM partecipa al WP3 (MATER-CO2), con riferimento metrologia della CO2, al WP5 (MATER-BIOMASSE), in relazione alla caratterizzazione termodinamica di biocarburanti liquidi, e al WP6 (MATER-SMART), per quanto concerne il monitoraggio dello stato delle reti elettriche e la trasmissione dei dati acquisiti per la gestione delle stesse.

*Ci&Sa - CIBO E SALUTE* Il progetto intende contribuire a rafforzare e innovare il sistema agroalimentare italiano individuando soluzioni adeguate ed efficaci ai crescenti e nuovi bisogni alimentari della popolazione, e ai problemi di sicurezza alimentare e sostenibilità agroalimentare. Ci&Sa affronta in maniera interdisciplinare e innovativa i temi della food quality, food safety e food security, con l'obiettivo che il cibo, a qualsiasi scala (locale, globale), sia salutare, sicuro e di qualità, e sia prodotto in maniera sostenibile e accessibile, in particolare a quei segmenti di popolazione con disturbi alimentari e/o patologie connesse ad alimentazione scorretta. Nell'ambito del progetto, INRIM è responsabile del WP relativo allo sviluppo di nuove metodologie di tracciabilità nel settore agroalimentare.

Con il Decreto n. 462 del 13 settembre 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. In quest'ultimo ambito, INRIM è coordinatore di due progetti, avviati nel 2018, per un finanziamento complessivo di k€ 700 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti:

Volume Photography - Volume Photography: measuring three dimensional light distributions without opening the box Il progetto si pone l'ambizioso obiettivo di sviluppare tecnologie complementari al fine di misurare la distribuzione della luce all'interno di strutture fotoniche mediante l'incorporazione di materiali 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. Misure di trasmissione o riflessione dei campioni potrebbero essere così completate da una comprensione più profonda del comportamento della luce al loro interno. L'approccio proposto prevede l'uso di diverse strategie volte allo studio di materiali e fenomeni luminosi molto diversi tra loro. Tuttavia, tutte le metodologie proposte hanno in comune l'introduzione di piccole quantità di materiali otticamente sensibili (in modo che la loro presenza non modifichi però le stesse proprietà ottiche delle strutture in esame), la loro attivazione e visualizzazione. Il progetto si propone di coprire l'analisi completa della tematica: dalla preparazione dei campioni da studiare (sistemi disordinati ed ordinati con cavità ottiche e scatteratori di diversa natura e dimensione) alla misurazione vera e propria (mediante tecniche complementari) allo studio teorico del fenomeno (avvalendosi anche di programmi di simulazione).

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

Sempre nell'ambito della Premialità 2017, INRIM partecipa anche, in qualità di partner, a 2 progetti avviati nel 2018, per un finanziamento complessivo pari a k€ 730 circa. Segue una breve descrizione degli obiettivi dei progetti:

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

Nano4Brain - Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease. La corteccia cerebrale è il più complesso stato della materia che sia accessibile alla nostra sperimentazione: 1 mm<sup>3</sup> di corteccia cerebrale contiene approssimativamente 5x10<sup>4</sup> neuroni. Ogni neurone supporta 10<sup>4</sup> elementi computazionali elementari (le sinapsi), che sono uniti da 5 km di connessioni. Le proprietà

macroscopiche della attività cerebrale, ed il comportamento degli organismi sono definiti dalla attività di questa rete, il cui sviluppo e funzione è determinato da effettori molecolari che presiedono al riconoscimento cellulare, al controllo strutturale, al controllo delle correnti ioniche e della trasmissione sinaptica. La rilevanza delle interazioni alla nanoscala sul mondo macroscopico sono esplicitate dal fatto che mutazioni puntiformi di singole proteine portano alla comparsa di gravi malattie che causano alterazioni della eccitabilità elettrica, delle funzioni cognitive, delle interazioni sociali. L'analisi di questa rete richiede il dispiegamento di tecnologie che operino ad una moltitudine di scale spaziali e che siano in grado di cogliere il divenire temporale dei processi biofisici sottostanti la funzione cerebrale. La profonda interdisciplinarietà delle neuroscienze collide con il modello classico della ricerca in ambito biologico che è appannaggio di laboratori piccoli con un limitato spettro di tecnologie. Questo progetto è nato dal desiderio di riunire sotto un tema comune laboratori attivi in campi molto diversi promuovendo l'interazione tra nanotecnologie, microelettronica, analisi computazionale informatica e ricerca in neuroscienze di base. Questa rete di ricercatori implementerà un approccio multidisciplinare per la identificazione di biomarkers molecolari e fisiologici di modelli genetici di malattie cerebrali e per la comprensione dei meccanismi cellulari alla base di queste patologie.

### **Progetti strategici INRIM**

Nel 2018 sono proseguiti i **Progetti Strategici** nei quali l'INRIM ha deciso di investire parte del finanziamento ricevuto dal MIUR (tramite Decreto Ministeriale del giugno 2014) del valore complessivo di k€ 3.612. Un'ulteriore fonte di finanziamento per i Progetti Strategici è arrivata dal finanziamento Premiale 2014 (Decreto MIUR n. 291 del 3 maggio 2016), attraverso la delibera del 19 luglio 2017 del CdA dell'INRIM che ha stabilito di destinare una quota del finanziamento, non superiore al 30%, al proseguimento dei progetti strategici già finanziati in precedenza.

PS2 – DOSIMETRIA EM. Il progetto PS2 “Dosimetria elettromagnetica per applicazioni biomedicali”, costituisce un'evoluzione del precedente Progetto Premiale P7 e ha come obiettivo di contribuire allo sviluppo e all'estensione delle metodiche diagnostiche e terapeutiche basate sull'impiego di campi elettromagnetici, con particolare riferimento alla tomografia a risonanza magnetica (MRI) e all'ipertermia magnetica indotta. Il Progetto, rispondendo alle priorità delle “Society Challenges” identificate nel programma di ricerca metrologica europea EMPIR, intende stimolare l'innovazione fornendo strumenti e metodologie di analisi per ricercatori, comunità medica, organismi normativi e legislativi e produttori di apparecchiature medicali. Il progetto è articolato in due filoni principali di attività, il primo rivolto all'imaging a risonanza magnetica e il secondo allo studio e caratterizzazione di nanostrutture magnetiche per l'ipertermia indotta.

PS3 – KELVIN Il progetto “Nuova definizione del kelvin e *mise-en-pratique*” persegue il rafforzamento di INRIM in ambito termometrico attraverso il suo contributo alla ridefinizione del kelvin, sulla base del valore della costante di Boltzmann  $k$ , e alla nuova *mise en pratique* (MeP-K). In particolare INRIM è impegnato nella determinazione di  $k$  con metodi acustici, a predisporre tecniche, procedure e sistemi di misura per poter soddisfare le prescrizioni della MeP-K, a individuare e implementare nuovi approcci di termometria primaria che possano progressivamente superare le scale quali base delle misure di temperatura.

PS4 – NANO EM. Il progetto si propone di sviluppare nanotecnologie innovative per dispositivi in grado di fornire alti livelli di accuratezza di misura, in particolare dispositivi superconduttivi, resistenza e carica quantizzate, e strutture spintroniche

### **Progetti SEED**

La delibera del 19 luglio 2017 del CdA dell'INRIM ha stabilito inoltre di destinare una quota del finanziamento Premiale 2014 (non superiore al 10%) all'attivazione di **progetti SEED**, progetti di breve durata che dovranno puntare su nuove idee di ricerca in ambito metrologico, da sviluppare eventualmente come proposte per soggetti finanziatori esterni all'Ente. A partire dal 2017 sono stati avviati 4 progetti SEED,

conclusi nel 2018, per i quali sono stati stanziati nel complesso k€ 200. Segue una breve descrizione dei contenuti dei progetti:

GeCum - Genetic Quantum Measurement. Il Genetic Quantum Measurement (GQM) è un innovativo protocollo di misura in grado di emulare i meccanismi evolutivi di mutazione, ibridazione e selezione. In linea di principio, tale protocollo è in grado di superare le prestazioni delle tradizionali misure proiettive (anche nel caso in cui esse costituiscano la misura ottima, in grado di saturare il limite di Cramér-Rao quantistico). Il GQM è composto da una sequenza di iterazioni in cui lo stato in esame subisce un'interazione-interferenza iniziale (mutazione+ibridazione) seguita da una misura selettiva (selezione); grazie al parallelismo quantistico, tutte le possibili "traiettorie evolutive" dello stato vengono esplorate simultaneamente. Il fatto che il GQM possa battere, in termini di incertezza, anche la strategia ottima prepara-e-misura, rendono questo protocollo di estremo rilievo per tutte le tecnologie quantistiche, in particolare per la metrologia quantistica e le misure "quantum-enhanced."

L-PRES - Test of a low pressure standard based on a superconducting microwave cavity. Il progetto realizza un prototipo che permette di realizzare un campione di pressione in fase gassosa nell'intervallo compreso fra 100 Pa e 10 kPa con accuratezza relativa di 20 ppm. Il campione sfrutta la possibilità di determinare con precisione estremamente elevata le frequenze di risonanza di una cavità a microonde riempita di elio e mantenuta in stato di superconduzione a temperature inferiori a 10 K.

IBC QuBit - Interference-based charge qubit for quantum metrology and sensing. Il progetto investiga le applicazioni di una nuova tipologia di dispositivo a controllo di singole cariche che sfrutta il principio dell'interferenza quantistica delle funzioni d'onda superconduttive appositamente controllate ai capi di un nanofilo. In particolare viene progettato, analizzato e realizzato in forma prototipale un nuovo circuito superconduttivo che realizza un qubit a stato di carica. Il peculiare controllo mediante campi magnetici rende la proposta di particolare interesse per la sua natura elettrostatica, caratteristica di rilievo per un incremento dei tempi di coerenza degli stati quantistici in gioco, limitati fortemente dall'interazione con sistemi di cariche di background a due livelli.

MES - Mise en pratique of an opto-acoustic primary calibration method for MEMS microphones. Il progetto sviluppa un metodo di taratura basato sulla misura della velocità delle particelle di aria in condizioni di campo libero (camera anecoica) mediante la misura della correlazione della dispersione di fotoni nella zona in cui interferiscono due raggi laser. Dalla misura della velocità si ricava la pressione acustica (l'impedenza dello spazio libero è calcolabile) che incide sul microfono in taratura, successivamente posto nella zona di interferenza. Il metodo è primario e direttamente riferibile a grandezze del SI.

## **1.2.6 - INFRASTRUTTURE DI RICERCA**

### **1.2.6.1 – EURAMET - European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)**

La European Association of National Metrology Institutes (EURAMET) 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 localizzazione di una sede scientificamente rilevante in Italia.

EURAMET gestisce il programma EMPIR per 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 di ricerca 2014 – 2024 European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), co-finanziato dall'Unione Europea attraverso l'art.185 del trattato europeo di Lisbona. Il valore di EMPIR è 600 M€: 300 M€ da risorse nazionali e 300 M€ dall'unione

europea; il 30% del cofinanziamento comunitario, 90 M€, finanzierà la partecipazione di industrie, università e istituti di ricerca. Il valore atteso della partecipazione italiana a EMPIR, 24 M€, è 7.6%.

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

EMPIR è articolato in bandi annuali raggruppati in sei moduli:

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

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

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

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

#### 1.2.6.2 – EURAMET - European Metrology Networks (EMN)

Nel corso del 2018, l'INRIM ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività di kick-off relative alla costituzione di cinque 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 in cui è coinvolto l'INRIM sono le seguenti:

EMN Quantum Technologies, coordinata dall'INRIM, ambisce a sviluppare la metrologia necessaria per favorire lo sviluppo delle tecnologie quantistiche (EMN-Q) e dei dispositivi quantistici. Le tecnologie quantistiche offrono opportunità e sfide 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 europea, contribuendo a mantenere la competitività europea nel campo delle tecnologie quantistiche. L'EMN-Q concentrerà i propri sforzi su attività coerenti con gli obiettivi della Quantum Flagship europea e con le necessità industriali che si paleseranno, fornendo un efficace contributo allo sviluppo delle tecnologie quantistiche europee.

EMN on Smart Electricity Grid, coordinata da VSL, 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. L'INRIM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

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

EMN for Mathematics and Statistics, coordinata da PTB, si propone 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 rete origina dal Centro Europeo per la Matematica e la Statistica in Metrologia (MATHMET) costituito nel 2014, di cui INRIM è membro. L'INRIM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

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 18NET02 TraceLabMed, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

### **1.2.6.3 - Galileo Timing Research Infrastructure**

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

Nel 2018 è continuata la sperimentazione del laboratorio DEMETRA per 3 dei 9 diversi servizi di timing basati sul segnale Galileo che erano stati sviluppati e validati nel 2015-2016, in particolare il servizio di disseminazione del tempo via fibra ottica, il servizio *All-in-one Time Synchronization Solution* (realizzato da Thales Alenia Space Italia) per la disseminazione del tempo via GNSSs (Global Navigation Satellite Systems) e il servizio di Time Integrity. Si sono inoltre avviate le attività per ripristinare i servizi di *Time Monitoring*, migliorato con nuovi algoritmi dalle prestazioni più elevate, e di *Time and Frequency Distribution via GEO Satellite* che consente la disseminazione del tempo via satellite geo-stazionario e per il quale è in via di definizione una collaborazione con il consorzio ANTARES responsabile per tale servizio.

Sono continuate le attività, supportate da ESA e EC, sulla sperimentazione del segnale Galileo per il time transfer e sull'analisi del comportamento degli orologi a bordo dei satelliti Galileo e sulla validazione del tempo di Galileo.

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

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

I finanziamenti ricevuti nel periodo 2010-2018 e già previsti per l'anno 2019 sono indicati nella tabella seguente.

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

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

Per quanto riguarda le risorse umane, annualmente l'Ente dedica all'infrastruttura 18 mesi uomo all'anno di personale strutturato, più almeno 32 mesi uomo all'anno di personale non strutturato (PhD, Assegni, Borse, TD).

#### **1.2.6.4 - Link Italiano Tempo e Frequenza (LIFT)**

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 permette di realizzare sensoristica innovativa distribuita sul territorio (per es. per la sismologia) e applicare tecnologie quantistiche su fibra ottica in campo reale (per es. la QKD).

Gli obiettivi di LIFT sono: i) distribuire stabilmente i segnali campione INRIM in fibra a una decina di centri italiani e transfrontalieri per l'accesso alle reti europee; ii) creare un sistema che dalla dorsale irraggi in siti secondari, con la finalità di costruire una piattaforma tempo/frequenza di qualità superiore in Italia; iii)

estendere e perfezionare la ricerca di eccellenza sulla sperimentazione di metrologia quantistica e crittografia quantistica in campo reale e sulle possibilità di una rete sismologica innovativa che utilizza la distribuzione di un laser ultrastabile e la tecnica interferometrica propria di LIFT; iv) obiettivo di metrologia primaria è nel prossimo triennio la costituzione della prima rete 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.

I segnali di riferimento per il tempo e la frequenza sono generati dall'INRIM mediante un insieme di orologi atomici, mantenuti costantemente allo stato dell'arte. Questi segnali sono attualmente distribuiti con varie tecniche (radiotelevisiva, internet, satelliti). L'uso di fibre ottiche commerciali permette la distribuzione senza degrado di precisione, consentendo all'utente remoto di ricevere segnali di qualità pari a quella presente nei laboratori INRIM. Questo si ottiene generando una radiazione laser a frequenza ultrastabile, idonea al trasporto su fibra ottica commerciale e riferita agli orologi dell'INRIM. L'infrastruttura in fibra si compone della fibra e degli apparati di amplificazione e rigenerazione. L'architettura deve essere completamente ottica e bidirezionale per compensare il rumore di fase introdotto dalla fibra stessa, che degraderebbe l'accuratezza del segnale. LIFT prevede sia l'uso di fibre dedicate sia la distribuzione sulla medesima fibra di traffico dati e segnali metrologici (attraverso multiplexing di frequenza).

Gli utenti di LIFT sono: gli osservatori radioastronomici con le antenne di Bologna, Noto e Cagliari; la geodesia spaziale di Matera (ASI); il centro di controllo di terra degli orologi del sistema satellitare Galileo al Fucino; aziende di aerospaziali di eccellenza in Lombardia e Lazio; sedi finanziarie (Torino e Milano); osservatori astronomici (Val d'Aosta); i centri di eccellenza scientifica (LENS, Università, CNR-INO – Firenze; CNR-IFN – Milano; CNR-INO – Napoli); i centri di simologia e sensoristica in ambiente marino, a seguito della sperimentazione con successo di un link tra Sicilia e Malta che ha evidenziato come le tecniche di LIFT siano utilizzabili per ottenere monitor sismologico sottomarino laddove i dati sono estremamente carenti.

La distribuzione dei campioni atomici coesisterà con la distribuzione di tecnologie quantistiche per la sensoristica e la crittografia, utilizzando reti ibride.

LIFT guarda all'Europa, per creare il ramo meridionale di una rete di link ottici che hanno i nodi principali nei maggiori Istituti Metrologici europei. Il raccordo europeo utilizzerà inizialmente il collegamento transfrontaliero italo-francese (Tunnel del Frejus, Lione, Strasburgo, Parigi) e successivamente anche quello italo-austriaco (Brennero).

Nel 2018, l'infrastruttura di ricerca è stata estesa a 1850 km dal confine francese a Matera, passando per Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli. Dal Novembre 2018 è completamente operativa, distribuisce segnali riferiti ai campioni nazionali con tecnica coerente e segnali di time-stamping con tecniche PTP e White Rabbit-PTP. Questi ultimi saranno progressivamente estesi: nel 2018 sono stati attivati circa 140 km tra Torino e Milano, con erogazione di un nuovo servizio al primo *early adopter*, mentre sono stati fatti passi significativi per estendere verso il sito aerospaziale del Fucino e verso l'INAF.

Nel 2018, i risultati della ricerca basati su LIFT e sulle competenze da esso maturato sono documentati in diverse pubblicazioni internazionali tra cui i recenti *Science* (2018), *Nature Physics* (2018), *Optica* (2018), e *PNAS* (2019).

#### **1.2.6.5 - Nanofacility Piemonte**

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

Grazie ad un contributo della Compagnia di San Paolo, dal gennaio 2010 è attivo il laboratorio Nanofacility Piemonte ([www.nanofacility.it](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 nanofabbricazione sulla base di collaborazioni scientifiche e tecnologiche. Dallo

stesso anno è anche attivo un servizio di prenotazione per l'accesso alla struttura tecnologica.

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

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

#### **1.2.6.6 - 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 sul territorio per la metrologia e la comunicazione quantistica, che si avvale 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 camioni atomici di frequenza o della comunicazione quantistica, dove si hanno i primi sviluppi commerciali.

PiqueT offre i benefici dalla nanofabbricazione, con dispositivi integrati, prestazioni migliori e costi ridotti rispetto alle prime realizzazioni in tecnologie "bulk" non integrate.

D'altro canto, la nanofabbricazione potrà incorporare i principi quantistici più complessi, che possono potenziare e trasformare i materiali e i dispositivi finora prodotti.

Per loro natura, le TQ richiedono quindi un ecosistema di ricerca e industriale coeso e un ambiente di sviluppo dove la ricerca e la produzione siano più legati e sia possibile introdurre nel mondo industriale uno sviluppo di materiali e dispositivi quantistici “by design”.

Elemento centrale di PiQuET è l'impianto di camera pulita da 500 m<sup>2</sup> (6 ambienti ISO7) ad alto controllo della qualità ambientale e dei contaminanti, secondo i moderni criteri ISO 14644-1 (vedi par. 1.7), in cui PiQuET:

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

INRIM come ente capofila del progetto acquisirà la camera pulita cuore dell'infrastruttura.

Inoltre, INRIM acquisisce due strumenti per la comunicazione quantistica: un sistema di Quantum Key Distribution Cerberis Blades della IDQuantique, progettato per l'integrazione della QKD su reti in fibra ottica e un sistema “trusted node” per test sull'Infrastruttura di Ricerca dell'estensione a lungo raggio delle tecniche di Quantum Communication e a crittografia ibrida classica/quantistica.

Infine, INRIM valuterà quali strumenti a propria disposizione ritiene sia opportuno trasferire nella nuova infrastruttura in una logica di razionalizzazione e abilitazione dei processi di lavorazione.

Il Politecnico di Torino acquisisce e insedia nella camera pulita quattro strumenti per la nanofabbricazione: un sistema di stampa polimerica sub-micrometrica a 2 fotoni; un sistema ICP-Reactive Ion Etcher con Helium Back-side cooling, end-point detector (dry etching di film sottili); un Dual-Beam FIB/E-beam Lithography (litografia avanzata); un 3D Measuring Laser Microscope (profilometria 3D non a contatto).

Inoltre, il Politecnico conferirà a Piquet una selezione delle proprie macchine già a disposizione, scelta in base all'utilità per lo sviluppo di filiere integrate di lavorazione.

L'università di Torino nel 2018 ha acquistato un Criostato Ottico che permette di porre i dispositivi micro/nanostrutturati per le comunicazioni quantistiche (per es. generatori o rivelatori di singolo fotone) in un ambiente protetto a basso rumore ambientale. Attualmente, questo strumento è un'eccellenza in Italia ed è collocato all'INRIM in attesa della destinazione finale nella camera pulita.

In data 13 marzo 2018 Finpiemonte SpA ha comunicato che la domanda 321-12 – acronimo progetto: Piquet presentata nell'ambito del bando di agevolazione finanziaria P.O.R FESR 2014/2020 – Asse I – azione I.1.a.1.5 – “INFRA-P Sostegno alle infrastrutture di ricerca considerate critiche/cruciali per i sistemi regionali” ha concesso il finanziamento richiesto, classificandosi con un punteggio di 111, superiore a quello minimo pari a 70 punti e posizionandosi terzo su un totale di 26 proposte, di cui 19 valutate ammissibili (primo classificato 113 punti, secondo 112).

#### Dettaglio progetto di investimento:

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

Per ottenere la concessione dell'agevolazione, è stato richiesto l'invio a mezzo PEC all'indirizzo finanziamenti.finpiemonte@legalmail.it il codice CUP rilasciato per il progetto e la nuova dichiarazione “Deggendorf” per il recupero degli aiuti illegali da parte della commissione europea.

La documentazione richiesta è stata inviata dall'amministrazione INRIM a Finpiemonte.

In data 28 Marzo 2018 l'atto costitutivo dell'Associazione Temporanea di Scopo è stato sottoscritto davanti al notaio Andrea Ganelli dal Legale Rappresentante di ciascun Istituto: Diederik Sybolt Wiersma, presidente e legale rappresentante dell'INRIM; Guido Saracco, Rettore del Politecnico di Torino; GianMaria Ajani, Rettore dell'Università di Torino.

Il 29 Mar 2018 il Direttore Generale Dr. Moreno Tivan forma il Gruppo di Gestione Piquet (Ilaria Balbo - Project manager; Claudio Rolfo – STSA; Suele Zoppetti – Contratti; Davide Calonico – Coordinatore)

In data 10 Aprile 2018 il progetto ha inizio formale.

Nel corso della primavera-estate 2018, INRIM sono state fatte opportune indagini di mercato per l'acquisizione della strumentazione scientifica prevista. In particolare, è stata richiesta la perizia di un professionista per la valutazione del costo dell'area di interesse e confermata con una Manifestazione di Interesse Revocabile le intenzioni dell'INRIM verso la proprietà dell'area, la società Torino Nuova Economia.

Il Gruppo di Gestione, in condivisione con il Direttore Generale e con la Dirigente Anna Galletti ha individuato i passi necessari delle diverse fasi dell'esecuzione del progetto (acquisizione strumenti, acquisizione area di intervento, lavori nell'area, stesura del capitolato della camera pulita, acquisizione della camera pulita) ed è stato proposto e condiviso la Gantt Chart.

Il Coordinatore di Progetto (D. Calonico) di concerto con il co-propennete (Luca Callegaro) costituisce un tavolo per l'elaborazione scientifica del progetto (formato da Giampiero Amato, Paola Tiberto, Luca Boarino, Ivo Pietro Degiovanni, Davide Calonico e Luca Callegaro) e uno tecnico per le questioni inerenti alla camera pulita e alle macchine da installare (formato da Natascia De Leo, Marco Coisson, Emanuele Enrico, Roberto Rocci, Giulia Aprile, Ivo Degiovanni, Davide Calonico) con il compito anche di confrontarsi con le controparti di Polito e Unito. Il tavolo tecnico elabora un primo layout della forma della camera pulita, e nell'estate-autunno 2018 chiede al Polito di indicare la lista di macchine che si possono mettere a disposizione per Piquet con relativa scheda tecnica per valutare le necessità tecniche delle medesime (carichi termici, assorbimento di energia, bisogno di gas e liquidi, ecc.) e procedere verso il capitolato della camera.

Il 9 Novembre 2018 il Demanio esprime parere di congruità del prezzo stimato in perizia per l'acquisizione della sede di intervento.

#### **1.2.6.7 - 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.

Le due macro-aree d'interesse sono:

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

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

Il Laboratorio contaminanti ambientali e il Laboratorio Istopatologia dell'IZSTO collaborerà al progetto per la ricerca di MOCA (Materiali e Oggetti a contatto con Alimenti) negli alimenti, focalizzandosi sullo sviluppo di metodi analitici sensibili e specifici per la determinazione, nel food packaging, di nano particelle metalliche (NPs). Inoltre verranno sviluppate tecniche analitiche ufficiali per l'individuazione di MOSH (idrocarburi

saturi, sia lineari che ramificati) e MOAH (idrocarburi aromatici, costituiti da uno o più anelli benzenici), oli minerali derivati dal petrolio. L'unità svilupperà inoltre sistemi biologici atti ad evidenziare interferenti endocrini presenti nel food packaging.

IL CREA metterà a disposizione le proprie conoscenze sul packaging in ambito enologico. In particolare studierà le problematiche relative alla determinazione in vino di contaminanti provenienti da tappi in materiale naturale (p.es. tricloroanisolo da sughero) e sintetico. Apporterà competenze relative ai sistemi di chiusura delle bottiglie e l'Oxygen Transfer Rates (OTR) attraverso le stesse, finalizzate a studi di shelf life dei prodotti vitivinicoli.

L'IPSP contribuirà allo sviluppo di composti naturali in alternativa agli agenti chimici con proprietà antimicrobiche e antiossidanti e che sono riconosciuti come sicuri nelle concentrazioni utilizzate nei prodotti alimentari. Coinvolgerà personale tecnico per il mantenimento delle attrezzature riguardanti il progetto, con particolare riferimento alle biotecnologie microbiche e vegetali per la produzione di componenti utili allo sviluppo di nuovi packaging attivi con proprietà antimicrobiche.

L'ISPA ha competenze nell'ambito della proteomica, con consolidato background nell'ambito dell'applicazione della spettrometria di massa all'analisi delle proteine e dispone strumentazioni e competenze utili alla determinazione del profilo compositivo degli alimenti e della presenza di contaminanti quali micotossine.

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

In data 12 febbraio 2018 Finpiemonte SpA ha comunicato che la domanda 321-32 – acronimo progetto: IMPreSA presentata nell'ambito del bando di agevolazione finanziaria P.O.R FESR 2014/2020 – Asse I – azione I.1.a.1.5 – “INFRA-P Sostegno alle infrastrutture di ricerca considerate critiche/cruciali per i sistemi regionali” è stata ammessa, avendo totalizzato un punteggio di 97, superiore a quello minimo pari a 70 punti e posizionandosi ottavo su un totale di 26 proposte, di cui 19 valutate ammissibili.

#### Dettaglio progetto di investimento:

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

Per ottenere la concessione dell'agevolazione, è stato richiesto l'invio a mezzo PEC all'indirizzo finanziamenti.finpiemonte@legalmail.it il codice CUP rilasciato per il progetto e la nuova dichiarazione “Deggendorf” per il recupero degli aiuti illegali da parte della commissione europea. La documentazione richiesta è stata inviata dall'amministrazione INRIM a Finpiemonte.

Il codice Codice Unico di Progetto, che identifica un progetto d'investimento pubblico ai fini del funzionamento del Sistema di Monitoraggio degli Investimenti Pubblici (MIP) è E11118000290005.

In data 19 Marzo 2018 l'atto costitutivo dell'ATS è stato sottoscritto davanti al notaio Andrea Ganelli dal Legale Rappresentante di ciascun Istituto: Diederik Sybolt Wiersma, presidente e legale rappresentante dell'INRIM; Maria Caramelli, direttore e legale rappresentante dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte; Riccardo Velasco, in qualità di direttore e legale rappresentante del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'economia agraria – Centro di Ricerca Viticoltura-Enologia; Antonio Francesco Logrieco nella sua qualità di direttore e legale rappresentante del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari; e Gian Paolo Accotto nella sua qualità di direttore e legale rappresentante del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante.

In data 10 Aprile 2018 è stato concesso il contributo relativo alla realizzazione del progetto IMPreSA.

Come da comunicazione da parte del presidente di INRIM a Finpiemonte in data 26 Giugno 2018, è stato dato inizio al progetto IMPreSA in data 10/05/2018 e viene richiesto che venga erogata nella misura del 25%

a titolo di anticipazione la somma di euro 210.000. La richiesta è approvata da Finpiemonte in data 27 Giugno 2018.

Nel corso della primavera 2018 sono state fatte opportune indagini di mercato per l'acquisizione della strumentazione scientifica prevista da IMPreSA e cioè

- Sistema ICP-MS (spettrometro di massa a quadruplo con sorgente di ioni al plasma accoppiato induttivamente) per l'analisi e quantificazione di metalli in matrici organiche, inorganiche e biologiche
- Sistema NMR (spettrometro a risonanza magnetica nucleare) con magnete a 600 MHz per la caratterizzazione strutturale di molecole organiche all'interno di materiali destinati all'imballaggio alimentare e in matrici alimentari e simulanti alimentari.
- Sistema HR-LC-MS (spettrometro di massa ad alta risoluzione accoppiato a cromatografia liquida) per analisi e quantificazione di molecole organiche con elevata risoluzione in massa
- Sistema GC-IRMS (spettrometro di massa con risoluzione isotopica accoppiato a un gascromatografo) per studi di provenienza di origine degli alimenti

Nell'autunno del 2018, dopo attenta valutazione delle prestazioni necessarie e dei costi della strumentazione, sono state avviate le prime due richieste di acquisto, per strumentazione protetta da diritti di esclusiva o considerata infungibile

In data 07/11/2018 è stata presentata la documentazione per la prima rendicontazione finanziaria.

In parallelo, sono stati avviati degli studi, in collaborazione fra le strutture tecniche, scientifiche e amministrativa e la dirigenza, per l'organizzazione degli spazi individuati per ospitare l'infrastruttura (2 piano della palazzina B, stanza 01b), in continuità con il laboratorio chimico, il laboratorio di spettroscopia vibrazionale e il laboratorio di biosicurezza classe II già sotto la responsabilità dell'SSO "Chimica-Fisica e nanotecnologie" (ex "Food Metrology") a cui afferisce IMPreSA.

La struttura tecnico-scientifica ha individuato i lavori necessari per rendere agibili i locali in funzione delle necessità di IMPreSA (linee gas, pareti mobili, pavimentazione, condizionamento aria, porte di sicurezza) e il project leader amministrativo sta organizzando la Gantt Chart.

### **1.2.7 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 IN RICERCA E SVILUPPO**

A supporto della ridefinizione del Sistema Internazionale delle unità, sono state riviste tutte le misurazioni del parametro reticolare, densità e composizione isotopica eseguite dall'International Avogadro Coordination utilizzando monocristalli di silicio altamente arricchiti dell'isotopo Si 28. La pubblicazione ha contribuito a formare la base di dati su cui ottimizzare i valori da attribuire (convenzionalmente) alle costanti di Avogadro e Planck per assicurare la continuità delle unità

*Fujii, K. et al.: Avogadro constant measurements using enriched Si-28 monocrystals. Metrologia 55 (2018).*

Fibre ottiche sottomarine sono state utilizzate per la prima volta per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza, evidenziando come sia possibile utilizzare questa tecnica anche per la rivelazione di terremoti. Questa ricerca seminale apre la strada ad un possibile utilizzo massiccio delle fibre per telecomunicazioni per realizzare una rete globale di monitoraggio dei terremoti sottomarini.

*G Marra et al.: Ultrastable laser interferometry for earthquake detection with terrestrial and submarine cables Science, 03 Aug 2018, Vol. 61, Issue 6401, pp. 486-490.*

Un orologio trasportabile è stato impiegato per misurare il potenziale gravitazionale di una località montana (un laboratorio situato all'interno del tunnel del Frejus) collegata all'INRIM attraverso una fibra ottica, dimostrando per la prima volta come orologi ottici possano venire utilizzati come strumenti geodetici.

*J Grotti et al.: Geodesy and metrology with a transportable optical clock. Nature Physics 14, 437-441 (2018).*

Le misure deboli rappresentano un paradigma della misura quantistica, con numerose possibili applicazioni, tra cui la determinazioni di parametri molto piccoli. In questo lavoro studiamo in dettaglio il caso in cui l'approssimazione di accoppiamento debole tra osservabile e pointer è valida.

*F.Piacentini et al.: Investigating the effects of the interaction intensity in a weak measurement. Scientific Reports 8, 6959 (2018).*

L'entanglement nel numero di fotoni dei twin beams è uno strumento fondamentale per la metrologia quantistica ottica. In questo lavoro si dimostra e discute tale vantaggio nel caso di misure di assorbimento, presentando una misura "ottimale".

*E. Losero et al.: Unbiased estimation of an optical loss at the ultimate quantum limit with twin-beams. Scientific Reports 8, 7431 (2018).*

I risultati di uno studio, pubblicato sulla rivista *Clinical Chemistry* (IF=8.6), che ha coinvolto diversi laboratori metrologici per dimostrare la riferibilità al Sistema Internazionale della tecnica digital PRC (dPCR) per la determinazione della concentrazione del numero di copie di DNA in una soluzione acquosa. L'impiego della tecnica dPCR riferibile permetterà l'implementazione e la standardizzazione delle procedure diagnostiche molecolari necessarie per i progressi nella medicina di precisione.

*Whale, As; Jones, Gm; Pavšič, J; Dreo, T; Redshaw, N; Akyürek, S; Akgöz, M; Divieto, C; Sassi, Mp; He, Hj; Cole, Kd; Bae, Yk; Park, Sr; Deprez, L; Corbisier, P; Garrigou, S; Taly, V; Larios, R; Cowen, S; O'Sullivan, Dm; Bushell, Ca; Goenaga-Infante, H; Foy, Ca; Woolford, Aj; Parkes, H; Huggett, Jf; Devonshire, As, "Assessment of Digital PCR as a Primary Reference Measurement Procedure to Support Advances in Precision Medicine", CLINICAL CHEMISTRY, Volume: 64, Issue: 9, Pages: 1296 to 1307, 2018.*

Lo studio, pubblicato sulla rivista *Free Radical Biology & Medicine* (IF=6), volto a studiare la reattività agli ultrasuoni (US) di una varietà di complessi metallo-porfirina, porfirina a base libera e Fe (III), Zn (II) e Pd (II) porfirina, analizzando la generazione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) e i relativi effetti biologici. In particolare, i risultati di citotossicità qui riportati, che sono rispecchiati da dati ex-cellulo, confermano che il tipo di generazione di ROS ottenuto dall'attivazione mediante US di porfirine intracellulari è fondamentale per l'efficacia della distruzione di cellule tumorali.

*Giuntini, Francesca; Foglietta, Federica; Marucco, Arianna M.; Troia, Adriano; Dezhkunov, Nikolai V.; Pozzoli, Alessandro; Durando, Gianni; Fenoglio, Ivana; Serpe, Loredana; Canaparo, Roberto, "Insight into ultrasound-mediated reactive oxygen species generation by various metal-porphyrin complexes", Volume: 121, Pages: 190 to 201, 2018.*

Il lavoro di review, pubblicato sulla rivista *Cells* (IF=4.8), che discute il ruolo di biomateriali che integrano segnali istruttivi biochimici come strumento per la generazione efficace di cardiomiociti (CM) funzionali. Il lavoro descrive le principali popolazioni di cellule staminali e gli approcci di riprogrammazione indiretti e diretti per la medicina rigenerativa cardiaca. Inoltre, discute le principali tecniche per la caratterizzazione della differenziazione delle cellule staminali e la riprogrammazione dei fibroblasti in CM. Un'altra sezione descrive i principali biomateriali studiati per la differenziazione delle cellule staminali e la riprogrammazione dei fibroblasti in CM.

*Paoletti, Camilla; Divieto, Carla; Chiono, Valeria, "Impact of Biomaterials on Differentiation and Reprogramming Approaches for the Generation of Functional Cardiomyocytes", Cells, Volume 7, Issue 9, 2018.*

L'analisi modellistica di dispositivi Hall miniaturizzati per la quantificazione di nanobead magnetici utilizzabili in applicazioni biomediche. Lo studio, pubblicato sulla rivista *IEEE Sensor Journal* (IF=2.6), è stato svolto mediante un modello fisico-numerico che fornisce la distribuzione spaziale del potenziale elettrico all'interno del dispositivo e dimostra l'esistenza di condizioni critiche per le quali il segnale di tensione Hall non è proporzionale al numero di particelle. In particolare, la risposta del sensore al numero di particelle risulta fortemente influenzata dalle interazioni dipolari magnetostatiche.

*Manzin, Alessandra; Nabaei, Vahid; Ferrero, Riccardo, "Quantification of Magnetic Nanobeads With Micrometer Hall Sensors", IEEE SENSORS JOURNAL, Volume: 18, Issue: 24, Pages: 10058 to 10065, 2018.*

Lo sviluppo di una nuova tecnica inversa per la ricostruzione in vivo delle proprietà elettriche di tessuti umani mediante misure di risonanza magnetica (MR-EPT), i cui risultati sono stati pubblicati sulla rivista *Inverse*

*Problems* (IF=1.9). In particolare, viene proposta una variazione della tecnica di inversione della sorgente di contrasto che non necessita della misura della fase del segnale di B1+. L'algoritmo è stato testato su problemi realistici, verificando la sua robustezza rispetto al rumore di misura.

Arduino, Alessandro; Bottauscio, Oriano; Chiampi, Mario; Zilberti, Luca, "Magnetic resonance-based imaging of human electric properties with phaseless contrast source inversion", *INVERSE PROBLEMS*, Volume: 34, Issue: 8, Article Number: 084002, Published: AUG 2018.

L'analisi dei rischi di false decisioni causate dall'incertezza di dati di misura ambientali, relativamente alla determinazione di inquinanti ambientali è l'oggetto del lavoro pubblicato sulla rivista *Chemosphere* (IF=4.4). Lo studio dimostra che anche se la valutazione della conformità per ciascun inquinante ha successo, la probabilità totale di una decisione sbagliata riguardante l'insieme potrebbe essere ancora significativa.

Pennecchi, Francesca R; Kuselman, Ilya; da Silva, Ricardo J N B; Hibbert, D Brynn, "Risk of a false decision on conformity of an environmental compartment due to measurement uncertainty of concentrations of two or more pollutants", *CHEMOSPHERE*, Volume: 202, Pages: 165-176, 2018.

Lo studio del comportamento di energy harvesters a forza diretta basati su Fe-Ga, approfondendo la correlazione tra bias magnetico e meccanico. Sono state ricavate le equazioni della tensione e della potenza elettrica di uscita in funzione del bias magnetico. Si è scoperto che i punti di massima erogazione di potenza giacciono su rette nel piano bias magnetico – bias meccanico. Si è dimostrato inoltre che la massima potenza può essere estratta dall'harvester anche in presenza di un basso campo coercitivo. Infine i risultati sono stati validati sperimentalmente e pubblicati sulla rivista *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*.

Palumbo, S.; Rasilo, P.; Zucca, M., "Experimental investigation on a Fe-Ga close yoke vibrational harvester by matching magnetic and mechanical biases", *JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS*, Volume: 469, Pages: 354-363, JAN 1 2019.

Lo sviluppo di tecniche di misura e compensazione, volte a caratterizzare e migliorare le prestazioni metrologiche in presenza di armoniche dei trasformatori di corrente e tensione (CT e VT) impiegati nelle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, è l'oggetto del lavoro pubblicato sulla rivista *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (IF=2.8). I risultati sperimentali hanno mostrato che la tecnica impiegata assicura un miglioramento significativo delle prestazioni metrologiche di CT e VT.

Cataliotti, Antonio; Cosentino, Valentina; Crotti, Gabriella; Femine, Antonio Delle; Cara, Dario Di; Gallo, Daniele; Giordano, Domenico; Landi, Carmine; Luiso, Mario; Modarres, Mohammad; Tine, Giovanni, "Compensation of Nonlinearity of Voltage and Current Instrument Transformers", *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, DOI: 10.1109/TIM.2018.2880060, Page(s): 1 – 11, 2018 (Early Access).

I risultati sperimentali riguardanti le misure di densità di ossido di deuterio ad alta pressione e in un ampio intervallo di temperature, mediante il metodo pseudo-isocoro, sono oggetto della pubblicazione comparsa sulla rivista *Journal of Chemical Physics Online* (IF=2.7). La densità dell'acqua pesante è stata misurata per temperature fino a 253 K e per pressioni fino a 163 MPa, quindi sia in stati stabili, sia in stati metastabili sovra-raffreddati, con un'incertezza relativa espansa pari a 0,04%.

Romeo, Raffaella; Lago, Simona; Albo, P. Alberto Giuliano, "Experimental densities of subcooled deuterium oxide at pressures up to 160 MPa", *JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS*, Volume: 149, Issue: 15, Article Number: 154503.

Lo studio pubblicato sulla rivista *Scientific Reports* (IF=4.5), volto a dimostrare come la scelta di un metodo adeguato per adattare le dimensioni e la posizione delle nanostrutture plasmoniche diventa fondamentale nella realizzazione di substrati per surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) impiegata in applicazioni bioanalitiche, al fine di incrementare sensibilmente il segnale, l'omogeneità e la riproducibilità.

Mandrile, L.; Giovannozzi, A. M.; Durbiano, F.; Martra, Gianmario; Rossi, Andrea Mario, "Rapid and sensitive detection of pyrimethanil residues on pome fruits by Surface Enhanced Raman Scattering", *FOOD CHEMISTRY*, Volume: 244, Pages: 16-24, Published: APR 1 2018.

Per quanto riguarda lo studio di *novel food*, è stato dimostrato come la tecnica *Fourier Transform Near Infrared spectroscopy imaging* (FT NIR) sia un metodo di screening rapido per il rilevamento e la

quantificazione della presenza di farine prodotte a partire da insetti in alimenti per gli allevamenti animali. I risultati sono pubblicati sulla rivista *Food Chemistry* (IF=4.5).

*Mandrile, Luisa; Fusaro, Ilaria; Amato, Giuseppina; Marchis, Daniela; Martra, Gianmario; Rossi, Andrea Mario, "Detection of insect's meal in compound feed by Near Infrared spectral imaging", FOOD CHEMISTRY Volume: 267, Special Issue: SI Pages: 240-245, Published: NOV 30 2018.*

La realizzazione di un campione di riferimento potenzialmente, impiegabile come standard per la quantificazione della risoluzione spaziale nell'impiego della Tip-Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) per analisi topografica e chimica con risoluzione su scala nanometrica, è descritta nella pubblicazione apparsa sulla rivista *RCS Advances* (IF=2.9).

*Sacco, Alessio; Imbraguglio, Dario; Giovannozzi, Andrea M.; Portesi, Chiara; Rossi, Andrea Mario, "Development of a candidate reference sample for the characterization of tip-enhanced Raman spectroscopy spatial resolution", RSC ADVANCES, Volume: 8, Issue: 49, Pages: 27863-27869, Published: 2018.*

Lo studio pubblicato sulla rivista *Metrologia* (IF=2.5) che riporta le misurazioni assolute della densità del vapore acqueo effettuate utilizzando un nuovo concetto di spettroscopia anulare della cavità con stabilizzazione della frequenza. Le frazioni molari di vapore acqueo sono state determinate con un'incertezza statistica di 0,6. Deviazioni sistematiche sono state identificate e attentamente quantificate, portando così a un'incertezza complessiva pari a 0,8.

*Fasci, Eugenio; Dinesan, Hemanth; Moretti, Luigi; Merlone, Andrea; Castrillo, Antonio; Gianfrani, Livio, "Dual-laser frequency-stabilized cavity ring-down spectroscopy for water vapor density measurements", METROLOGIA, Volume: 55, Issue: 5, Pages: 662 to 669, 2018.*

Lo studio, pubblicato sulla rivista *Metrologia* (IF=2.5) e frutto di una collaborazione con il National Research Council canadese (NRC), di un nuovo punto fisso (xenon), che si propone come alternativa al punto triplo del mercurio per la realizzazione della Scala Internazionale di temperatura ITS-90. Il confronto ha evidenziato una differenza tra la cella INRIM e NRC pari a (0.17 +/- 0.08) mK, con un'incertezza pari a 0.11 mK e 0.07 mK, rispettivamente per la cella INRIM e NRC.

*Steur, P. P. M.; Rourke, P. M. C.; Giraudi, D. "Comparison of xenon triple point realizations", METROLOGIA, Volume: 56, Issue: 1, Article Number: 015008, Published: FEB 2019.*

Nel campo della nanofabbricazione per self-assembly di copolimeri a blocchi sono stati conseguiti interessanti risultati nella capacità di ordinare nanostrutture in modo direzionato mediante litografia laser e sfruttando strati di copolimeri a blocchi ultrasottili (2-15 nm) aumentando in questo modo sensibilmente le distanze di correlazione delle nanostrutture ordinate.

*F. Ferrarese Lupi, T.J. Giammaria, A. Miti, G. Zuccheri, S. Carignano, K. Sparnacci, G. Seguni, N. De Leo, L. Boarino, M. Perego, M. Laus, Hierarchical Order in Dewetted Block Copolymer Thin Films on Chemically Patterned Surfaces. ACS Nano 12, 7076–7085 (2018).*

Sono stati conseguiti risultati di rilievo nel campo dei memristor, dei dispositivi per memory switching e nell'emulazione di architetture di calcolo neuronale. La fabbricazione di un dispositivo di tipo memristivo a singolo nanofilo di ZnO cristallino con un contatto elettrico di composizione asimmetrica Platino-Argento, rappresenta un primo sistema modello per lo studio e l'emulazione delle sinapsi cerebrali, a cui seguiranno studi su reti di nanofili.

*G. Milano, M. Luebben, Z. Ma, R. Dunin-Borkowski, L. Boarino, C. F. Pirri, R. Waser, C. Ricciardi and I. Valov, Self-limited single nanowire systems combining all- in-one memristive and neuromorphic functionalities, Nature Communications, 9, 5151 (2018) DOI: 10.1038/s41467-018-07330-7*

I Quantum Hall array resistance standards (QHARSs) sono circuiti integrati composti di elementi Hall quantistici. Consentono la realizzazione dell'ohm per valori di resistenza qualsiasi. Gli autori hanno presentato nel 2016 metodi di progetto efficienti per i QHARS; un problema aperto è una valutazione dell'accuratezza dei QHARS, il cui valore può essere alterato dalle resistenze di contatto e delle connessioni. Il lavoro affronta e risolve il problema con le moderne tecniche di analisi circuitale e espressione dell'incertezza con metodi Monte Carlo. Come esempio pratico, il metodo di analisi è applicato a un QHARS da 1 M $\Omega$  sviluppato dal National Metrology Institute of Japan.

M. Marzano, T. Oe, M. Ortolano, L. Callegaro, N.-H. Kaneko, "Error modelling of quantum Hall array resistance standards," *Metrologia* vol. 55, n. 2, p. 167 (2018).

I transistor realizzati con materiali 2D sono di grande interesse per l'elettronica per le loro potenzialità di integrazione, velocità di commutazione, ridotta potenza di esercizio. Nel lavoro viene caratterizzato un transistor in bisolfuro di molibdeno (MoS<sub>2</sub>), con contatti in titanio che realizzano due giunzioni Schottky asimmetriche. Vengono studiate le caratteristiche elettriche e fotoelettriche del dispositivo, che mostra un'isteresi riconducibile alle peculiarità del MoS<sub>2</sub> impiegato come canale.

A. Di Bartolomeo, A. Grillo, F. Urban, L. Lemmo, F. Giubileo, G. Longo, G. Amato, L. Croin, L. Sun, S.-J. Liang, L. K. Ang, "Asymmetric Schottky Contacts in Bilayer MoS<sub>2</sub> Field Effect Transistors", *Advanced Functional Materials* vol. 28, n. 28 (2018).

La dinamica della magnetizzazione in fili sottili (1 nm) magnetici di larghezza variabile da 1-20 micron in presenza di una alta anisotropia perpendicolare rivela un comportamento complesso dovuto al pinning delle pareti originato dalla rugosità del bordo dei fili. Questo spiega le significative deviazioni dalle leggi universali del creep ottenibili in film estesi.

Liza Herrera Diez, Vincent Jeudy, Gianfranco Durin, Andrea Casiraghi, Yuting Liu, Michele Voto, Guillaume Agnus, David Bouville, Laurent Vila, Jürgen Langer, Berthold Ocker, Luis Lopez-Diaz, Dafiné Ravelosona, *Phys. Rev. B*, vol. 98, 054417 (2018)

I materiali magnetici dolci sono alla base dei sistemi di conversione dell'energia elettrica e per l'elettromeccanica. L'articolo di rassegna si concentra sulle proprietà dei materiali contemporanei e sulla possibilità di incrementare le future prestazioni, per una maggiore efficienza ed il risparmio energetico.

JM Silveyra, E Ferrara, DL Huber, TC Monson, "Soft magnetic materials for a sustainable and electrified world," *Science* 26 Oct 2018, *Science* vol. 362, Issue 6413, 2019.

Nel campo della fabbricazione di substrati per la spettroscopia Raman SERS, un tipo di spettroscopia ad altissima sensibilità per applicazioni bioanalitiche, è cruciale il controllo della posizione e la distribuzione degli hot spot ove il segnale viene aumentato dal contributo plasmonico. È quindi di fondamentale importanza scegliere un metodo di fabbricazione appropriato per adattare le dimensioni e la posizione delle nanostrutture plasmoniche, in modo da produrre substrati SERS con buona omogeneità, riproducibilità e un incremento significativo del segnale.

*Influence of the long-range ordering of gold-coated Si nanowires on SERS*, E. Cara, L. Mandrile, F. Ferrarese Lupi, A. Giovannozzi, M. Dialameh, C. Portesi, K. Sparnacci, N. De Leo, A. Mario Rossi, L. Boarino. *Scientific Reports*, 8, 11305 (2018)

### **1.2.8 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 NEL RUOLO NMI**

Link in fibra ottica: messa in funzione del link in fibra ottica per la disseminazione di riferimenti primari ottici di tempo e frequenza. Il link collega Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli e Matera.

Confronto internazionale: conclusione del confronto CCQM P184 "Copy number concentration and fractional abundance of a mutation (SNV or INDEL) mixed with wild-type DNA", dove si sono sviluppate le capacità di misura del numero di copie di DNA mediante tecnica ddPCR; analisi statistica dei dati del confronto CCQM P123 "Number and geometric property of cells adhered to a solid substrate". Avvio della messa in qualità, secondo normativa ISO 17025, delle procedure tecniche per la preparazione e l'analisi di campioni per misure di densità cellulare e confluenza (applicazioni nell'ambito IVD).

Confronto internazionale: conclusione del confronto chiave CCQM-K120b "Ambient CO<sub>2</sub>" con la pubblicazione del rapporto finale. Il confronto ha richiesto la preparazione di miscele di CO<sub>2</sub> in aria, con requisiti stringenti sulla composizione della matrice e sull'incertezza nella determinazione della frazione molare di CO<sub>2</sub>.

Confronto internazionale: uscita del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K131 "Mass fraction of organic calibration solution". Il confronto è stato volto a dimostrare la capacità dei laboratori partecipanti nel determinare la frazione di massa di composti organici con massa molecolare da 100 Da a 500 Da in soluzioni multicomponente da 100 µg/kg a 100 mg/kg.

Confronto internazionale: pubblicazione del Draft B del confronto EURAMET.EM-S37 "Comparison of Instrument Current Transformers". Il confronto è basato sulla misura dell'errore di rapporto e d'angolo di trasformatori di corrente operanti nel campo (4 - 10) kA/5 A, esplorando variazioni della corrente primaria nel campo (1 - 120) % del valore nominale.

Confronto internazionale: coordinamento di un confronto supplementare (bilaterale con Tubitak UME - TK) per la misura dei parametri richiesti per la realizzazione di scale temperatura di radianza tra 150 °C e 1100 °C. E' stato preparato e registrato al BIPM il protocollo del confronto ed è stata eseguita la caratterizzazione del termometro campione di trasferimento INRIM TS1.

Confronto internazionale: sono stati pubblicati sul key comparison database del BIPM (KCDB) e sulla rivista Metrologia gli esiti del confronto EURAMET.T-K1, organizzato dal PTB (G) sulle realizzazioni della ITS-90 da 2.6 K a 24.5561 K con l'utilizzo di termometri a resistenza di rodio-ferro. Tale risultato consentirebbe all'INRIM di estendere le CMC dall'attuale limite inferiore di 24.56 K a 4 K.

Confronto internazionale: sono stati pubblicati sul key comparison database del BIPM (KCDB) e sulla rivista Metrologia gli esiti del confronto EURAMET.T-S4, coordinato dall'NPL, per la misura dei parametri richiesti per l'approssimazione della ITS-90 con tecniche di termometria a radiazione nel campo di temperatura da 156 °C a 962 °C. I risultati ottenuti dall'INRIM sono in perfetto accordo con il valore medio di riferimento.

Confronto internazionale: pubblicazione dei risultati del confronto "An international comparison of phase angle standards between the novel impedance bridges of CMI, INRIM and METAS", M Ortolano, L Palafox, J Kučera, L Callegaro, V D'Elia, M Marzano, L. Palafox, J. Kučera, L. Callegaro, V. D'Elia, M. Marzano, F. Overney, G. Gülmez, Metrologia 55 (4), 499, svolto nell'ambito del progetto EMRP Aim QuTE.

Confronto internazionale: EMPIR 16NRM04 MagnASand: proprietà magnetiche di nanoparticelle magnetiche in soluzione liquida; è stata condotta un'attenta analisi dei metodi di misura esistenti e documentati in letteratura per la determinazione delle proprietà magnetiche più rilevanti di nanoparticelle in soluzione liquida. A seguito dell'analisi, tre grandezze principali sono state selezionate (momento magnetico ad alto campo, suscettività magnetica in alternata, potenza specifica dissipata). Si è quindi iniziato a lavorare ad una checklist, secondo l'impostazione richiesta dall'ISO/TC 229, con l'obiettivo di arrivare a stabilire se sia possibile trasferire in una norma tecnica la procedura di misura di tali grandezze per sistemi di nanoparticelle magnetiche in soluzione liquida.

Confronto internazionale EURAMET-COOMET. confronto sulle capacità di misura della perdita di energia in materiali ferromagnetici orientati e non orientati (lamierini Epstein e tori), in conformità con la norma IEC 60404-2, tra i seguenti istituti: UNIIM (Russia), PTB (Germania), CMI (Repubblica ceca), INRIM (Italia), NPL (UK). Il Rapporto finale è stato pubblicato su Metrologia 55 (1A), Technical Supplement, 01006 (2018): "1337 EURAMET.EM.M.S2 Supplementary comparison of national standard facilities in the field of measuring the polarization and specific total power loss in soft magnetic materials". M. Albrecht, M. A. Malygin, J. Kupec, M. Ulvr, C. Appino, M. Hall, S. Turner.

### **1.2.9 - ATTIVITÀ E RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2018 NELL'ATTIVITÀ DI KNOWLEDGE TRANSFER**

Formazione per NMI estero: training di personale dell'ente metrologico georgiano (GeoSTM) nell'ambito del Twinning Contract "Support to Georgian National Agency for Standards and Metrology for further implementation of the EU - Georgia DCFTA requirements". Gli argomenti trattati durante il corso sono stati: bilancio di incertezza relativo alla misura della potenza emessa da un trasduttore ultrasonoro, realizzazione del programma semiautomatico per la misura del valore di conduttanza del trasduttore ultrasonoro.

Brevetti: deposito di una proposta di brevetto italiano, insieme a POLITO e UNITO, dal titolo "Agente sonosensibilizzante e suo metodo di attivazione".

Attività di servizio: Messa in funzione di un *gas-controlled heat pipe*, presso il laboratorio di taratura del politecnico di Torino, centro LAT 139.

Formazione per NMI esteri: nell'ambito del progetto EMPIR 17RPT04 VersiCaL, INRIM ha organizzato un evento di formazione e ospitato diversi ricercatori di NMI esteri (un ricercatore per un periodo di 2 mesi) nell'ambito della metrologia dell'impedenza elettrica con ponti digitali.

Eventi tenuti in occasione della 26<sup>a</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), che si è tenuta a Versailles (13 - 16 novembre 2018) per la ridefinizione di quattro delle sette unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale (SI).

- Intervista video, 6 marzo 2018: 2018, un anno... "smisurato" (in collaborazione con Triwù);
- "Linguaggi della Scienza", incontri con le scolaresche presso la Casa delle Letterature di Roma, 10-11 aprile 2018 (in collaborazione con Triwù);
- INRIM Open Day "Vola chi misura" per la giornata mondiale della metrologia, 20 maggio 2018: apertura dei laboratori, 800 visitatori;
- Conferenza di Pier Giorgio Odifreddi "La misura delle cose, da Eratostene a Verne", 20 maggio 2018;
- Trasmissione radiofonica "2 pesi 2 misure" di Radio 24, 25 puntate fra luglio e agosto 2018 (in collaborazione con Triwù);
- EURAMET Communications Workshop, 25-26 ottobre 2018;
- Conferenza-spettacolo "2019: un anno smisurato", Festival della Scienza di Genova, 29 ottobre 2018" ( in collaborazione con Triwù);
- Conference "Redefining the measurement units", held by Luca Callegaro, Politecnico di Milano, 18 novembre 2018;
- Conferenza stampa di presentazione della ridefinizione delle unità SI, 20 novembre 2018, Roma;
- Conferenza "La revisione del Sistema Internazionale di unità di misura prevista nel 2019", tenuta da Vittorio Basso, Politecnico di Milano, 5 dicembre 2018.

### **1.3 - RISULTATI 2018 E CONFRONTO CON ANNI PRECEDENTI**

Nelle tabelle successive sono presentati alcuni indicatori di produzione scientifica e tecnologica al 31 dicembre 2018.

I relativi dati analitici - con il dettaglio sui prodotti realizzati dalle Divisioni - sono riportati a parte nel fascicolo "*Risultati e dati 2018*".

I prodotti INRIM sono stati suddivisi nelle tre seguenti categorie:

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

**Tabella 6 – Pubblicazioni nel periodo 2016-2018**

Descrizione	2016			2017			2018			S	NMI	KT
	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT			
Volumi	2	-	2	-	-	-	-	-	-	3	1	1
Articoli su riviste ISI (per 2018: <b>IF medio<sup>1</sup>= 4.1</b> )	143	131	11	1	153	123	23	7	146	114	26	6
Altri articoli su riviste e capitoli di libro	17	13	2	2	21	7	3	11	30	14	7	9
Articoli su atti di congresso	108	101	6	1	35	22	9	4	42	24	15	3
Rapporti tecnici	40	18	17	5	30	12	9	9	23	8	13	2
<b>Totali</b>	<b>310</b>	<b>263</b>	<b>38</b>	<b>9</b>	<b>239</b>	<b>164</b>	<b>44</b>	<b>31</b>	<b>244</b>	<b>161</b>	<b>62</b>	<b>21</b>

<sup>1</sup> IF medio 2017: 4.1; IF medio 2016: 3.06.

La successiva Tab. 7 riporta i dettagli di ripartizione delle pubblicazioni 2018.

**Tabella 7 – Distribuzione delle pubblicazioni 2018**

Descrizione	MF			MQV			NM			STALT			OTHER	TOT		
	S	NMI	KT		S	NMI	KT									
Volumi	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1		1	1	1
Articoli su riviste ISI con IF	22	11	3	30	4	-	53	5	1	9	6	2		114	26	6
Altri articoli e capitoli di libro	1	1	2	8	-	-	2	1	3	3	5	2	2 (KT)	14	7	9
Articoli su atti di congresso	7	3	2	13	4	-	1	3	-	3	5	1		24	15	3
Rapporti tecnici	-	2	-	-	6	-	3	1	-	5	4	1	1	8	13	2
<b>Totali</b>	<b>31</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>51</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>59</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>161</b>	<b>62</b>	<b>21</b>

Nelle tabelle seguenti sono invece riportati i principali prodotti di trasferimento delle conoscenze, suddivisi tra prodotti specifici e attività formative.

**Tabella 8 - Knowledge transfer - altri prodotti di valorizzazione applicativa**

Descrizione	2016			2017			2018		
	S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT
Progetti di ricerca attivi nell'anno	56	19	16	56	10	18	61	11	24
di cui nuovi	12	2	10	23	1	7	21	3	14
Brevetti <sup>3</sup> depositati in Italia o all'estero			3	-	-	1			-
Estensioni di brevetto all'estero			-	-	-	-			1
Certificati di taratura e misura		2.056			1.842			1.882	
Rapporti di prova		65			33			27	
Relazioni ILC emesse (INRIM Proficiency Testing Provider)						102			145
Altri documenti tecnici		94			111			198	
CMC pubblicate sul KCDB del BIPM		415			406			402	
Laboratori accreditati <sup>4</sup>		178			185			196	
Procedure di taratura		245			224			245	
Documenti e procedure del Sistema Qualità		25			23			33	
Confronti chiave e internazionali		52			46			33	
On site peer review visits (di NMI stranieri)		1			1			1	
Progetti di strumenti, apparati o impianti	4	3	-	11	2	-	10	5	-
Manufatti e realizzazioni di rilievo	11	5	1	10	2	1	6	7	3

**Tabella 9 - Knowledge transfer - formazione**

Descrizione	2016	2017	2018
	KT	KT	KT
Dottorati (triennali) attivati nell'anno	11	4	7
Tesi concluse nell'anno (dottorato)	8	10	14
Tesi concluse nell'anno (II livello)	6	9	20
Tesi concluse nell'anno (I livello)	15	15	17
Ricercatori stranieri presso INRIM (mesi-persona)	3,5	26,5	29
Ricercatori INRIM all'estero (mesi-persona)	1	16,5	30
Seminari INRIM di esperti interni	1	-	-
Seminari INRIM di esperti esterni	13	20	22
Corsi di formazione per esterni ed interni	7	2	8
Organizzazione congressi, convegni e riunioni tecniche	23	19	25
Eventi scientifico - divulgativi	130	135	26
Media communications			153
Eventi, comunicati stampa e interviste per ridefinizione SI			113

<sup>3</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".

<sup>4</sup> Laboratori accreditati dal Dipartimento ACCREDIA-DT con il supporto tecnico dell'INRIM.

#### 1.4 – RISORSE DI PERSONALE PER L'ATTIVITÀ SCIENTIFICA

I dati relativi al personale delle strutture tecnico-scientifiche dell'INRIM sono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 10 - Personale TI (al 31/12/2018)**

Div	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
DIREZIONE SCIENTIFICA	8	25	50	27	3	113
STALT	2	5	12	27	-	46
<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>
<b>Tot 2016</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>56</b>	<b>52</b>	<b>3</b>	<b>147</b>
<b>Tot 2015</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>52</b>	<b>54</b>	<b>3</b>	<b>144</b>

La tabella successiva presenta anche le altre tipologie di figure che collaborano alle attività INRIM: Assegni di ricerca e Borse di addestramento.

**Tabella 11 – Altro personale**

Altro Personale	Personale in servizio al 31-12-2018	Tipologia fonte di finanziamento	
		NON FOE	FOE
Assegnisti	33	33	-
Borsisti	2	2	-
<b>Totale</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>-</b>

## 2 - OBIETTIVI GENERALI E STRATEGICI DA CONSEGUIRE NEL TRIENNIO

Le finalità dell'INRIM, il ruolo e i compiti di Istituto Metrologico Primario sono attribuiti dalla legge n. 273/1991 *“Istituzione del Sistema Nazionale di Taratura”* che all'art.2, c.1 recita:

*“Gli istituti metrologici primari effettuano studi e ricerche finalizzati alla realizzazione dei campioni primari delle unità di misura di base, supplementari e derivate del sistema internazionale delle unità di misura SI. Tali istituti confrontano a livello internazionale i campioni realizzati e li mettono a disposizione ai fini della disseminazione prevista dal sistema nazionale di taratura.”*

e dal decreto legislativo n. 38/2004 *“Istituzione dell'Istituto nazionale di ricerca metrologica (I.N.R.I.M.), a norma dell'articolo 1 della legge 6 luglio 2002, n. 137”* che art. 2, c. 1, recita:

*“L'I.N.R.I.M. è ente pubblico nazionale con il compito di svolgere e promuovere attività di ricerca scientifica, nei campi della metrologia. L'I.N.R.I.M. svolge le funzioni di istituto metrologico primario, già di competenza dell'istituto «Gustavo Colonnetti» e dell'Istituto elettrotecnico nazionale «Galileo Ferraris» ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273. L'I.N.R.I.M., valorizza, diffonde e trasferisce le conoscenze acquisite nella scienza delle misure e nella ricerca sui materiali, allo scopo di favorire lo sviluppo del sistema Italia nelle sue varie componenti.”*

L'INRIM è firmatario per l'Italia del *Mutual Recognition Arrangement (MRA)*, 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. Esso 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.

I Campioni nazionali di misura sono individuati dal DM n. 591/1994 *“Regolamento concernente la determinazione dei campioni nazionali di talune unità di misura del Sistema internazionale (SI) in attuazione dell'art. 3 della legge 11 agosto 1991, n. 273”* e di successivi sviluppi tecnico-scientifici che hanno portato al loro riconoscimento internazionale nell'ambito del MRA come *Calibration and Measurement Capabilities (CMC)*.

A livello interdivisionale la Direzione Scientifica si dota di un settore che persegue gli obiettivi di diffondere la cultura metrologica e della qualità (in conformità all'accordo CIPM MRA) e di promuovere le attività di Public Engagement coinvolgendo sempre più il tessuto sociale del Paese. INRIM è Istituto Nazionale e pertanto si vorrebbe estendere la sua capacità di penetrazione dal territorio provinciale e regionale ad iniziative divulgative a carattere nazionale, anche attraverso la ricerca di fonti di finanziamento.

### 2.1 - FINALITÀ E OBIETTIVI DELLE DIVISIONI

#### **Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)**

L'attività di ricerca della Divisione *“Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)”* si sviluppa in linea con i programmi di ricerca europei per la metrologia e gli obiettivi del Piano Nazionale della Ricerca rivolti sia alle cosiddette *“Societal Challenges”* che ai materiali avanzati alla micro e nanoscala con diverse funzionalità (ad esempio nanofotoniche, spintroniche ed elettroniche) per l'impiego in diversi ambiti strategici e orientati ai temi di energia, mobilità sostenibile e salute. Si programmano in tali ambiti attività complementari rivolte sia alla sintesi mediante tecniche innovative e della scienza delle superfici, sia allo sviluppo di riferimenti metrologici e di tecniche di misura. L'attività per le scienze della vita sarà finalizzata all'approfondimento di nuove 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. Per sostenere l'evoluzione verso un ridotto impatto ambientale la Divisione si propone di fornire il supporto metrologico funzionale con lo sviluppo di riferimenti e tecniche di misura per il monitoraggio e controllo dei sistemi di distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica.

La Divisione articola gli obiettivi scientifici di ricerca di base e applicativa in progetti nazionali e internazionali. Inoltre nell'ambito delle proprie attività di ricerca sulla metrologia in ambito europeo partecipa attivamente alle seguenti European Metrology Networks (EMN) (in collaborazione con le altre Divisioni) recentemente approvate in ambito EURAMET:

- European Network for Traceability in Laboratory Medicine;
- European Metrology Network on Smart Electricity Grids;
- European Metrology Network for Mathematics and Statistics;

- European Metrology Network on Advanced Manufacturing;
- European Metrology Network for Quantum Technologies.

Il ruolo NMI è svolto attraverso il coordinamento e partecipazione a confronti di misura in ambito EURAMET e CCM in tutte le grandezze. La disseminazione verrà mantenuta e rafforzata tramite attività di taratura.

Le attività di trasferimento tecnologico avranno carattere sia di ricerca che di supporto metrologico al mondo industriale. Esse si articolano nelle varie tematiche scientifiche e consistono in: a) brevetti; b) Trasferimento tecnologico all'industria tramite consulenze e contratti; c) Organizzazione di Scuole scientifiche; d) Organizzazione di Simposi nazionali e internazionali; e) Formazione accademica, internazionale, tecnica con attivazione di attività di tutoring di studenti, tirocini curriculari per studenti universitari del terzo anno, tesi di Laurea Magistrale, tesi di Dottorato; f) attività di peer review presso altri Istituti Metrologici nazionali (NMI); g) supporto all'Ente Italiano di Accreditamento (ACCREDIA) con attività tecniche di ispezione; organizzazione di confronti iter-laboratorio (ILC); h) supporto all'industria; i) eventi di divulgazione.

## **Metrologia applicata e ingegneria (AE)**

La Divisione "Metrologia applicata e ingegneria (AE)" sviluppa la scienza metrologica e le tecnologie con attenzione all'ingegneria e alle necessità industriali. Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, e secondo l'attribuzione a INRIM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991), AE 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. Nel corso del triennio sono inoltre programmate 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.

La Divisione sviluppa i propri piani di attività in linea con i programmi di ricerca metrologici europei (EMPIR) e con il Piano Nazionale della Ricerca nei temi di pertinenza. Partecipa inoltre attivamente alle seguenti reti metrologiche europee (European Metrology Network - EMN), anche in collaborazione con le altre Divisioni:

- EMN on Climate and Ocean Observations;
- EMN for Mathematics and Statistics (MATHMET).

È inoltre coinvolta nelle seguenti EMN in fase di costituzione:

- EMN on Positioning, Navigation, Timing and Geodesy;
- EMN on Advanced Manufacturing.

L'elevata interdisciplinarietà delle competenze all'interno della Divisione e la mutua interazione tra metrologia e ricerca applicata, si sviluppano in varie aree di ricerca organizzate in 5 settori scientifici: Metrologia della massa e delle grandezze apparentate, Metrologia della lunghezza, Misure elettriche ed elettroniche, Termodinamica Fisica, Termodinamica applicata.

Il settore della Metrologia della massa e delle grandezze apparentate (masse, volumi, densità, portate di liquidi, portate e volumi di gas, pressioni e vuoto, forze, durezza, gravità), oltre a mantenere i campioni e disseminare le unità delle grandezze di competenza, conduce 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.

Il settore della Metrologia della lunghezza, mantiene e dissemina i campioni delle grandezze dimensionali, conduce 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.

Il settore delle Misure elettriche ed elettroniche, conduce attività di ricerca e sviluppo inerenti la 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.

Il settore della Termodinamica fisica, realizza, mantiene e dissemina i campioni delle unità di misura delle grandezze termodinamiche, sviluppa 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, sviluppa sensori di temperatura innovativi anche basati su tecnologie quantistiche, generatori e campioni di umidità in matrice gassosa o solida, conduce attività di ricerca sulle 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.

Il settore di Termodinamica applicata si occupa di applicazioni industriali e ambientali della termodinamica, nelle misure termiche, in processi radiativi e in chimica delle miscele gassose. Le tematiche di sviluppo nel triennio 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.

Per tutte le attività, ci si pone l'obiettivo di incrementare la capacità di modellizzazione e prototipazione a supporto della ricerca, nonché di incrementare la produzione scientifica.

Le attività di ricerca si svolgeranno principalmente, ma non esclusivamente, nell'ambito di progetti di ricerca nazionali e internazionali ammessi a finanziamento esterno. Dal momento che tali risorse dovranno essere principalmente impiegate per coprire oneri di personale, è necessario prevedere una quota di finanziamento FOE per poter mantenere tali attività.

## **Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)**

La Divisione "Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)" svolge la propria attività nell'ambito della fisica quantistica e delle nanotecnologie applicate alla scienza delle misure, allo sviluppo dei campioni primari delle unità del sistema internazionale e alle applicazioni quantistiche nello sviluppo di capacità di misura avanzate per la società e l'industria.

Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, e secondo l'attribuzione a INRIM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991), QN realizza e dissemina le unità del tempo e della frequenza, delle grandezze fotometriche e radiometriche e delle grandezze elettriche.

In QN, la mutua applicazione tra metrologia e temi quali la fisica atomica e molecolare, la fotonica, l'elettronica quantistica, i dispositivi quantistici e le misure quantistiche si articolano in vari settori di ricerca, organizzati in 5 settori scientifici omogenei: Chimica Fisica e Nanotecnologie (CFN); Elettronica Quantistica (QE); Fotometria e Radiometria (FR); Ottica Quantistica (QO); Tempo e Frequenza (TF).

Il settore CFN studia le proprietà di materiali nanostrutturati e i metodi di misura e certificazione in ambiente biotecnologico e in particolare per la metrologia alimentare.

Il settore QE realizza le unità di misura della resistenza e della tensione elettrica tramite gli effetti quantistici di Hall e di Josephson, le unità della potenza e della capacità elettrica e presidia le misure di conversione da correnti e tensioni continue ad alternate. Esplora le applicazioni del grafene e di singoli fotoni a microonda come frontiera della metrologia elettrica.

Il settore di Fotometria e Radiometria realizza il campione primario d'intensità luminosa e cura le grandezze collegate. Svolge ricerche innovative per migliorare il campione applicando le tecnologie quantistiche della rivelazione a singolo fotone.

Il settore di Ottica Quantistica svolge ricerche su misura imaging quantistici, sorgenti a singolo fotone e applicazione delle proprietà di singolo fotone alla crittografia quantistica, con un approccio metrologico attento alla standardizzazione dei dispositivi crittografici.

Il settore di tempo e frequenza realizza il campione primario di frequenza con orologi atomici ad atomi freddi, sia nelle frequenze a microonda che in quelle ottiche, e genera la scala di tempo atomica UTC(IT). Distribuisce i segnali degli orologi con tecniche satellitari, e svolge un ruolo di rilievo nello sviluppo del Sistema di Navigazione Satellitare europeo Galileo.

Ha realizzato e mantiene una dorsale in fibra ottica per la disseminazione avanzata dei segnali degli orologi atomici e lo sviluppo delle tecnologie quantistiche in campo reale.

La divisione coordina e infrastrutture di ricerca dei progetti Impresa (tecnologie per la metrologia e la sicurezza alimentare) e Piquet (tecnologie quantistiche e nanofabbricazione), progetti dell'INRIM parte delle linee strategiche della Regione Piemonte per l'infrastrutturazione di ricerca e il trasferimento tecnologico al tessuto produttivo, finanziati attraverso fondi europei nel FESR 2014-2020 .

La Divisione sviluppa i propri piani di attività in linea con i programmi di ricerca metrologici europei (EMPIR) e con il Piano Nazionale della Ricerca nei temi di pertinenza. Partecipa inoltre attivamente alle seguenti reti metrologiche europee (European Metrology Network - EMN), anche in collaborazione con le altre Divisioni: coordina a livello europeo l'EMN on Quantum Technologies e propone come coordinatrice l'EMN on Food Metrology, oltre a partecipare alla proposta dell'EMN on Positioning, Navigation, Timing and Geodesy.

## **2.2 - RICERCA E SVILUPPO**

### **Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)**

#### ***Scienza e Tecnologia alla Nanoscala***

L'attività è rivolta a fornire il supporto metrologico per la realizzazione di sistemi modello per i materiali di riferimento e nonché per la crescita di vari sistemi (film sottili e 2D) per l'utilizzo in dispositivi nanoelettronici per la sensoristica, e magnetoelettronica. Processi nanolitografici sviluppati in questo contesto consentono inoltre lo sviluppo di sistemi adatti ad applicazioni biologiche.

E' previsto l'utilizzo di processi litografici basati su self-assembly alla nanoscala di nanosfere e copolimeri a blocchi e tecniche convenzionali (litografia UV, litografia a fascio elettronico e ionico) per sviluppare sistemi e materiali di riferimento 3D nanostrutturati, utili per affinare la riferibilità di tecniche di indagine chimica e superficiale e la relativa strumentazione analitica commerciale. E' previsto lo sviluppo di una tecnica litografica innovativa per progettazione di maschere sospese mediante evaporazione angolata, ottenute utilizzando multistrati di grafene cresciuti su cobalto che utilizza strati di grafene cresciuti su film di cobalto per la realizzazione di dispositivi mesoscopici. Per quanto riguarda l'attività di sviluppo di metamateriali si prevede la progettazione e fabbricazione di strutture fotoniche passive basati su metamateriali iperbolici autoassemblati (ad esempio guide d'onda, risonatori ad anello, accoppiatori di reticoli, interferometri Mach-Zehnder, riflettori di Bragg lineari e circolari, cavità e membrane disordinate) e lo studio dell'accoppiamento con emettitori quantistici come i difetti N-V in diamante, molecole fluorescenti e quantum dot. I processi di self-assembly verranno impiegati la sintesi di materiali 2D e 3D ordinati e disordinati per lo studio delle proprietà fotoniche quali la dipendenza della densità locale di stati fotonici in risposta a diversi tipi di disordine in strutture aperiodiche (ad es., con disordine deterministico, stocastico, frattale, iperuniforme, quasicristallino, ecc.)

Verranno sviluppati dispositivi nanoelettronici per la sensoristica e la metrologia quali giunzioni Josephson (ad esempio nanomagnetometri SQUID, array Josephson ecc.), E' prevista inoltre la realizzazione di nanosensori e circuiti innovativi per elettronica quantistica e fotonica (nanoSQUID, nanobolometri, nanoTES, rivelatori a singolo fotone nanofilo superconduttori - SNSPD, ecc.) per il conteggio di singoli fotoni nelle regioni spettrali del visibile e IR. L'attività proseguirà con la fabbricazione di micro e nano-dispositivi basati su singoli nano-oggetti e caratterizzazione delle loro proprietà elettriche e termiche (per esempio dispositivi superconduttori, singoli nanofili e memristor).

La nanomanipolazione alla nanoscala consentirà lo studio e lo sviluppo di nuove funzionalità di materiali (isolanti topologici e materiali magnetici) cresciuti con controllo su scala nanometrica e a singolo layer (2D). Infine è previsto lo sviluppo di semiconduttori magnetici diluiti mediante drogaggio controllato aventi come l'obiettivo l' utilizzo della flessibilità dei semiconduttori per manipolare i singoli spin per attività in ambito spintronico.

#### ***Campi e sistemi elettromagnetici***

Nel triennio l'attività sarà finalizzata allo sviluppo di riferimenti, sensori, metodi di previsione e misura per l'implementazione di sistemi elettrici ed elettromagnetici energeticamente efficienti e sicuri in relazione alle emissioni di campo. Gli studi riguarderanno principalmente i sistemi a trazione elettrica e sistemi di trasferimento dell'energia con tecnologia wireless e sensing remoto per applicazioni nei trasporti. E' prevista inoltre un'attività di caratterizzazione elettromagnetica di dispositivi e di valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici

Per quanto riguarda l'attività in sistema a trazione elettrica, Si svilupperanno setup per la caratterizzazione dell'intera catena per la misura on-board di potenza, energia e power quality (PQ) per applicazioni ferroviarie (16ENG04 MyRailS). Lo studio dei fenomeni di PQ verrà approfondito mediante campagne di misure on-site. Si condurranno studi modellistici ed esperimenti, sia in laboratorio, sia in campo, per la sviluppo di tecniche di identificazione dell'arco elettrico prodotto dal contatto strisciante. Verranno inoltre sviluppati, mediante approccio integrato modellistico-sperimentale sistemi e metodi per valutare l'efficienza energetica dei sistemi di conversione elettromeccanica e accumulo dell'energia e l'impatto conseguente all'introduzione di nuovi materiali.

Verrà inoltre completato il sistema di misura per tensioni continue DC e AC alternate fino a 1 kV e 300 kHz e si studierà l'influenza del segnale di ripple di tensione e corrente sull'incertezza di misura di potenza a bordo dei veicoli elettrici con ricarica induttiva (IPT) (16ENG08MICEV). Verrà sviluppato inoltre un sistema di misura sincronizzato mediante GPS per la determinazione dell'efficienza di trasmissione della potenza durante il processo di ricarica anche su veicoli in movimento. Il sistema includerà sistemi sensori per la misura dell'induzione magnetica in prossimità della stazione di ricarica e a bordo veicolo. Si effettuerà lo studio modellistico e sperimentale dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti da sistemi IPT. Lo studio modellistico che include sorgenti, schermi e carrozzerie dei veicoli sarà condotto combinando

codici elettromagnetici delle sorgenti e codici dosimetrici facenti uso di modelli anatomici umani dettagliati per quantificare l'esposizione umana in stazioni di ricarica reali.

Per quanto riguarda l'attività di taratura dei sensori si svilupperanno sistemi di riferimento di tensione con uscita analogica o digitale in presenza di forme d'onda di tensione reali, in grado di riprodurre eventi o sequenze di eventi di PQ in media tensione (17IND Future Grid II). Verranno inoltre studiati metodi per la caratterizzazione e la compensazione delle non linearità di sensori con nucleo magnetico quali i trasformatori di misura induttivi (Premiale 2014 MATER-SMART). E' previsto uno studio sull'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti da sistemi elettrici per trasporto e distribuzione dell'energia (richiesta di CESI S.p.A e Terna S.p.A). Sarà possibile valutare eventuali situazioni di rischio per il personale impiegato nei lavori sotto tensione, problema per cui la letteratura non è al momento esaustiva. Per l'analisi dell'interazione campi-uomo si impiegheranno farò uso di modelli dosimetrici sviluppati in INRIM, basati su modelli anatomici.

### ***Acustica in Aria e Ultrasuoni***

L'attività dell'acustica in aria è indirizzata al mantenimento dei servizi di taratura e certificazione con un'adeguamento dei sistemi di misura (programmi software di gestione delle catene di taratura) presenti nel laboratorio campioni di pressione acustica. L'obiettivo del triennio sarà la ricollocazione a ruolo primario dell'istituto per quanto riguarda le attività in ambito acustico, grazie anche ad un'attiva partecipazione ai lavori del comitato IEC TC 29 Electroacoustics e del sottocomitato EURAMET TCAUV/Sound in Air. E' previsto infine il completamento di una camera anecoide di dimensioni ridotte nell'ambito di attività finanziata da Progetto SEED.

Le attività in ambito degli Ultrasuoni saranno principalmente rivolte allo sviluppo della scienza metrologica per la salute connesse con il progetto EURAMET EMPIR 18HLT06 RaCHy–Radiotherapy coupled with Hyperthermia- e riguarderanno la sonodinamica e la dosimetria sonora. In particolare è previsto uno studio per l'utilizzo di campi ultrasonori per il rilascio controllato di farmaci. In tale ambito, proseguirà l'attività rivolta alla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttori ad onda piana e HIFU.

Per la dosimetria ultrasonora verrà effettuato lo sviluppo, la caratterizzazione e l'applicazione di 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 (e.g. unità di Fisica Sanitaria dell'Ospedale San Raffaele di Milano) finalizzata all'applicazione dei campi ultrasonori nelle tecniche terapeutiche basate sull'ipertermia ad ultrasuoni.

### ***Scienze e tecnologie biomediche***

L'attività sarà essenzialmente rivolta a fornire il supporto metrologico nell'ambito delle scienze e tecnologie biomediche e biologiche, sia sul piano delle tecniche di misura sia su quello delle diagnostiche. I settori sono vari e riguardano l'Imaging diagnostico (MRI), l'ipertermia elettromagnetica e mediata da nanoparticelle magnetiche, la misura di biomarcatori e lo studio delle interazioni tra materiali e sistemi biologici.

Nell'ambito del progetto EMPIT HLT MIMAS, è prevista la generazione di un database di scenari critici d'esposizione in ambito MRI (paziente con protesi + sequenza di applicazione dei campi di gradiente) e, tramite un'analisi modellistico-sperimentale, si valuterà la sovratemperatura indotta. Nel Progetto QUIERO si eseguirà una caratterizzazione degli algoritmi di EPT per la diagnostica, dalla verifica delle prestazioni con dati simulati all'utilizzo su acquisizioni in vivo con tomografi clinici. Si effettueranno inoltre esperimenti di ripetibilità/riproducibilità su phantom, realizzati per simulare distretti anatomici eterogenei e monitorati periodicamente per verificarne la stabilità. Per quanto riguarda l'attività in ambito terapeutico dell'ipertermia, nel Progetto Rachy si realizzeranno strumenti di calcolo e sperimentali per lo studio, in phantom ed in silico, di tecniche terapeutiche basate su ipertermia elettromagnetica (EM) alle radiofrequenze e ipertermia mediata da nanoparticelle magnetiche. L'attenzione sarà rivolta allo sviluppo di applicatori EM-RF per ipertermia EM, di phantom con proprietà fisiche controllate e di codici numerici per l'analisi di nanomateriali per ipertermia magnetica, mirati allo studio del trasporto in vasi sanguigni, del rilascio locale di calore e dell'incremento di temperatura indotto.

In ambito In Vitro Diagnostic, si proseguirà lo sviluppo di metodi basati su ddPCR per la misura di biomarcatori molecolari estratti da biopsie liquide, per la diagnosi di malattie neurodegenerative (Progetto NEUROMET) e oncologiche. Si implementeranno tecniche di Spettroscopia a Forza Atomica per monitorare le variazioni del modulo elastico cellulare, come biomarcatore tumorale, e si caratterizzerà la motilità cellulare con AFM e microscopia multimodale. Nel campo della sensoristica biologica, si studieranno nanoparticelle in grado di generare un segnale di seconda armonica, da usarsi come sonde a livello intracellulare. Grazie agli strumenti di calcolo sviluppati nel Progetto NanoMag, si proseguirà lo studio di sensori di tipo FMR (risonanza ferromagnetica) per il rilevamento di nanoparticelle magnetiche per biolabeling. Riguardo alla tecnica INAA, si effettueranno misure di Co in campioni di capelli di pazienti con

protesi metalliche in monitoraggio presso l'IOR di Bologna e del rapporto isotopico  $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$  in campioni di riferimento ultra-puri, per la quantificazione della contaminazione da Sb.

Verrà effettuato lo studio dell'effetto antimicrobico di nanogocce ossigenate e di modelli 3D di pelle" (Progetto CRT "Le ferite croniche dell'anziano) e si studieranno nanoparticelle biocompatibili per il rilascio controllato di ossigeno e farmaci, grazie all'attivazione mediante campi ultrasonori. In medicina rigenerativa, si caratterizzerà, tramite ddPCR, metodi metabolici e tecniche di microscopia, il differenziamento cartilagineo e osseo di cellule staminali su diversi tipi di scaffold. Si proseguirà lo studio della riprogrammazione cellulare per la rigenerazione cardiaca (Progetto BIORECAR) con ddPCR, AFM e nuove tecniche spettroscopiche. Al fine di migliorare le capacità di misura del microscopio multimodale CARS-TPEF-SHG, si svilupperanno nuove tecniche di microscopia Raman Coerente, i.e. Stimulated Raman Scattering ed Heterodyne CARS, e si implementeranno ottiche adattive per incrementare l'efficienza dei processi non lineari. Nell'analisi di immagini iperspettrali acquisite con microscopia CARS e tecniche interferometriche si svilupperanno algoritmi per il clustering e il pattern recognition per l'estrazione di dati chemometrici dei campioni misurati.

### ***Magnetismo, Materiali e Spintronica***

Lo sviluppo e la misura di materiali magnetici funzionali è di interesse per applicazioni aventi gli obiettivi più disparati quali risparmio energetico, ambiente e salute. Le attività verteranno principalmente sul trasporto di spin e della dinamica di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche con impiega per una nuova classe di dispositivi spintronici e nei materiali per l'energia (risparmio energetico in motori elettrici/trasformatori).

In particolare, per la spintronica si prevede lo sviluppo di tecniche di misura innovative in materiali alla nanoscala e di modelli per la dinamica di magnetizzazione controllata da effetti di spin-torque e spin-orbita in diverse configurazioni (pareti di Bloch e Néel, vortici, skyrmion, spin waves). Proseguiranno studi di spin caloritronica di termodinamica di non-equilibrio per il trasporto di momento magnetico e calore nei solidi e nelle interfacce effetto spin Seebeck). Verranno sviluppati teorie e modelli per il processo di magnetizzazione scalare e vettoriale e per le trasformazioni di fase dei materiali funzionali per l'energia.

Si prevede lo sviluppo di tecniche innovative di misura degli effetti collegati all'esistenza di correnti di spin: spin-Hall, spin-Seebeck, spin-Peltier, spin-torque, etc.; misura della dinamica di magnetizzazione uniforme o non uniforme (spin-wave, vortici, skyrmions, etc.) tramite microonde, magneto-ottica, MFM; misura per l'ipertermia da nanostrutture magnetiche; misura di parametri collegati all'interazione spin-orbita (es. anisotropia magnetocristallina, costante di interazione Dzyaloshinskii-Moriya, spin-Hall angle, etc.); misura della costante di magnetostrizione in film sottili tramite microscopia a scansione di sonda (AFM); misura statica e dinamica per i materiali magnetici per l'energia (in regime mono e bi-dimensionale), per l'ambiente, l'archeologia e i beni culturali. Si svilupperanno tecniche di microscopia ad alta risoluzione con l'utilizzo di film indicatori magnetici ed MFM per la misura quantitativa riferibile di campi magnetici. Verranno effettuati confronti con risultati ottenuti mediante tecniche complementari (Progetto Nanomag: MFM calibrato, magneto-ottica con film indicatori).

Per quanto riguarda l'attività di preparazione di materiali per la spintronica, il nanomagnetismo e materiali innovativi verranno sviluppate nanostrutture da film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o dealligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves e per la magneto-meccanica (Progetto ITN-SELECTA, BeMagic e EMPIR MAGnastand). Si realizzerà la sintesi e la funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche anche core-shell in vista di possibili impieghi nel campo biomedico (agenti di contrasto per diagnostica tramite risonanza magnetica, per ipertermia magnetica o per somministrazione guidata di farmaci). Si prepareranno leghe magnetiche in forma massiva, con differenti proprietà funzionali (dolci, dure, magnetocaloriche, magnetostrittive) tramite tecniche di solidificazione rapida (ad es. suction casting) e metallurgia delle polveri. Si proseguirà lo studio della tecnica sonochimica per l'idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica e per l'immagazzinamento di idrogeno.

### **Metrologia applicata e ingegneria (AE)**

#### ***Metrologia della massa e delle grandezze apparentate***

Le attività di ricerca nelle aree **masse, volumi e densità**, saranno nel triennio fortemente indirizzate dalla ridefinizione del kilogrammo, mettendo a frutto le diverse competenze presenti all'interno della Divisione. Esse verteranno alla realizzazione di una bilancia elettrostatica riferibile alla costante di Planck per campioni di massa dell'ordine di 100 mg. Tale studio verrà anche esteso alla fattibilità per campioni di massa fino a 100 g e per campioni di forza riferibili alla costante di Planck. Verrà studiato un modello di calcolo per la misura dell'assorbimento dei campioni di massa nel passaggio vuoto-aria e al variare dell'umidità ambientale.

Nell'ambito delle **portate di liquidi**, verrà condotto uno studio di fattibilità per la realizzazione di sistemi di misura dell'energia termica per via indiretta, cioè senza la necessità di misurare la portata, in particolare

volto alla realizzazione di un sensore da utilizzare nelle misurazioni energetiche legate agli impianti di riscaldamento. Per quanto riguarda **portate e volumi di gas**, verranno apportate migliorie agli impianti esistenti per ridurre le incertezze; verranno inoltre consolidate le competenze sui campionatori di aria mediante sviluppi teorici e impiego di strumentazioni dedicate e sviluppate competenze sui flussi rarefatti, accompagnate da analisi numerica. Verrà condotta un'analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata.

Nell'ambito dell'area delle **pressioni e del vuoto**, verrà implementato un modello FEM per studiare l'effetto della pressione di un gas sulle deformazioni meccaniche di una cavità Fabry-Pérot e un interferometro a multi-riflessione. Verrà realizzato un campione ottico di pressione basato sulla misura dell'indice di rifrazione di un gas, mediante un interferometro a multi-riflessione. In particolare, verrà sviluppata una versione in grado di operare nell'intervallo tra 100 Pa e 150 kPa. Un'ulteriore attività, sarà legata allo sviluppo di un nuovo layout di un sistema di misura innovativo in cui la pressione è determinata attraverso la misura dello scattering Rayleigh in presenza di molecole di gas. Tale sistema sarà progettato e realizzato in modo da coprire l'ampio intervallo di pressione tra 10 Pa e 1 MPa.

Nell'area delle **forze**, lo studio degli effetti di tutte le componenti del vettore forza nelle macchine di prova è un elemento attualmente non considerato ma che può giocare un ruolo importante nella fase taratura e/o caratterizzazione metrologica e nel conseguente uso. A questo scopo, verranno sviluppate metodologie innovative per la taratura di macchine di prova multicomponenti nell'ambito del progetto EMPIR 18SIB08 ComTraForce. Verrà inoltre realizzata una nuova macchina campione di forza da 100 kN: lo sviluppo di nuovi campioni primari permette sia il loro miglioramento, sia lo studio di sistemi innovativi con conseguente miglioramento dell'incertezza nella realizzazione dell'unità di forza.

Lo studio dei parametri di influenza delle misure di **durezza** permette di realizzare la definizione delle varie scale a livello CIPM-CCM e di valutarne l'incertezza in modo più completo; lo sviluppo di nuovi campioni primari permette il miglioramento degli stessi e lo studio di sistemi innovativi al fine di ridurre l'incertezza nella realizzazione delle scale di durezza. In questo contesto, verranno analizzati i fattori d'influenza delle misure di durezza Rockwell, le caratteristiche meccaniche dei penetratori a sfera di carburo di tungsteno (collaborazione col Politecnico di Torino) e verranno sviluppati algoritmi di analisi di immagini interferometriche per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante.

Nell'area della **gravità**, l'attività di ricerca sarà prevalentemente incentrata al miglioramento del gravimetro assoluto trasportabile IMGC-02, al fine di aumentarne l'affidabilità e ridurre l'incertezza di misura. In questo contesto, verrà implementato il nuovo interferometro ottico e studiato il sistema inerziale di riferimento per le misure interferometriche; verrà inoltre realizzato un nuovo sistema di lancio simmetrico del grave.

Nell'area delle **vibrazioni**, verrà realizzato un sistema di misura e taratura di accelerometri digitali MEMS triassiali da 0.1 ms<sup>-2</sup> a 20 ms<sup>-2</sup> (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 un opportuno supporto per la taratura simultanea su tre assi. Per quanto riguarda i sensori accelerometrici MEMS digitali, è stata avviata una collaborazione esplorativa con ST Microelectronics per lo studio di fattibilità di taratura on-line e off-line. Parte dell'attività di ricerca sarà dedicata alla procedura per la determinazione del modulo di Young dinamico di materiali polimerici viscoelastici soft e ultra-soft, nel campo di frequenza tra 0.1 Hz a 1 kHz. Nelle attività legate al progetto PRIN2017 "Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control", si annovera l'indagine delle procedure e delle tecniche di misurazione delle proprietà rifratto-negative, nell'ambito della trasmissione di onde elastiche, in materiali a struttura periodica, tra 1 Hz e 10 kHz. Per quanto concerne le attività sviluppate entro il progetto "ZeroNoise" finanziato in ambito MESAP - Smart products and Manufacturing, si sta supportando lo sviluppo di sistemi di misura basati sulla tecnica della velocimetria laser doppler per la valutazione e il controllo della trasmissione di vibrazioni in impianti idraulici e lo sviluppo di sistemi di mitigazione.

### ***Metrologia della lunghezza***

Nel campo della **metrologia dimensionale** prosegue l'impegno per la riduzione dell'incertezza nelle misure d'angolo (anche attraverso l'uso del Ring Laser) e delle righe ottiche, applicazione alla ricerca delle nuove tecniche di misura interferometriche sviluppate nell'ambito dei progetti EMPIR (LAME e Geometre) e ESA (LIG-A).

Per quanto riguarda la **nanometrologia e metrologia delle superfici**, lo sviluppo dei processi top-down e bottom-up pone l'esigenza di campioni atti a garantire la riferibilità della strumentazione alla nanoscala. La ricerca è indirizzata in particolare allo sviluppo di campioni a supporto della nanometrologia 3D, con l'obiettivo di produrre nanostrutture e materiali di riferimento, definire modelli e metodologie a supporto della riferibilità delle misurazioni ed alla metrologia ibrida con la fusione di dati da microscopia a sonda, SEM, profilometria a stilo ed ottica per la nanoscala. Verranno sviluppati metodi di misura AFM di nanoparticelle (NP) non sferiche (bipiramidi, piattine, cubi, in collaborazione con UniTO), e di nanostrutture di origine vegetale (in collaborazione con CNR-IPSP) come campioni di riferimento di forma e dimensioni alla nanoscala. Verranno inoltre portate avanti attività di caratterizzazione AFM/STM di superfici funzionali di NP

e di campioni 3D nano e lo studio di metodologie “bottom-up” basate su “assembling” di nanostrutture. Nell’ambito della collaborazione con Applied Materials Italia e con CRF-FCA, saranno eseguiti lo studio e la definizione di parametri ad hoc per la correlazione tra la morfologia e le proprietà funzionali per alcuni casi di studio (collaborazione con Applied Materials Italia e con CRF-FCA). Verranno messi a confronto metodi di misura a contatto e non per la tessitura areale di geometrie complesse.

Nel campo della **metrologia a coordinate e lunghe distanze** proseguono le attività finalizzate allo sviluppo di metodi per la valutazione dell’incertezza applicabile nei settori industriali (coordinamento del progetto EMPIR 17NRM03 EUCoM) e quelle legate alle applicazioni di grandi dimensioni (progetto EMPIR 17IND03 LaVA), in particolare nel campo delle macchine utensili di grandi dimensioni e dell’interferometria su lunghe distanze. Nell’ambito del progetto EUCoM, verrà determinata la relazione fra i parametri normalizzati  $E(Bi)$  e  $\{E(Uni), P(Size), P(Form)\}$  allo scopo di separare gli errori di misura e costituire la base per predizioni dell’incertezza di misura. Si contribuirà inoltre allo sviluppo di un metodo a posteriori basato su *reversal*. Nell’ambito del progetto LaVA, verrà portata a vanti la prova del concetto di un sensore innovativo e a basso costo per la determinazione degli errori di geometria delle macchine utensili di grandi dimensioni. Verrà inoltre sviluppato un modello d’errore delle medesime e effettuata una prima valutazione (per simulazione) dell’identificabilità dei suoi parametri, in relazione con un’opportuna procedura di misura.

La misura della velocità del suono in aria è un efficace metodo per la valutazione della misura della temperatura su lunghe distanze (a sua volta fondamentale per l’accuratezza delle misure interferometriche). Ad oggi l’accuratezza di queste misure è limitata a 300 ppm. In questo contesto, mettendo insieme le diverse competenze presenti nella divisione, verranno realizzati metodi e strumenti per la misura della velocità del suono in aria di riferimento (aria standard) riducendo l’incertezza al di sotto di 100 ppm (Progetti EMPIR 18SIB01 GeoMetre e 18SIB04 Quantum Pascal), con importanti ricadute sulla metrologia e sulla fisica dei gas.

Nel campo dell’**interferometria X/ottica (COXI)** a cristalli separati, prosegue lo studio e l’analisi dei possibili effetti di superficie sulla misura assoluta del parametro reticolare del silicio anche in collaborazione con IAC (International Avogadro Coordination). In questo contesto, verrà portata avanti la collaborazione internazionale con NMIJ e PTB per

la realizzazione del kilogrammo supportando la misura dimensionale della distanza interatomica del silicio. Proseguirà lo studio sperimentale degli effetti dello stress superficiale in collaborazione con NMIJ e KEK-PF. La realizzazione dei nuovi laboratori sarà l’attività prioritaria del triennio. I lavori di ristrutturazione sono previsti da settembre 2019 ad agosto 2020. Successivamente sono previsti sei mesi per la messa in servizio dei locali ristrutturati a partire dalla realizzazione delle piattaforme antivibranti, sorgenti a raggi X, sistemi a vuoto, laser stabilizzati per la realizzazione del metro (Nd:YAG) e lo spostamento del materiale accessorio esistente (settembre 2020 - marzo 2021). Dall’aprile 2021 all’agosto 2021 si prevede di iniziare il ripristino dell’operatività dell’esperimento del parametro reticolare e il suo upgrade sperimentale, con successiva piena operatività e ripristino delle capacità di misura per la determinazione del parametro reticolare da settembre 2021 a marzo 2022. La crescente domanda di accuratezza alla scala del micrometro consiglia di attuare riferimenti di lunghezza attraverso la spaziatura del reticolo cristallino del silicio. INRIM è firmatario di un documento tecnico (congiuntamente con NPL e PTB) che è stato ratificato dal CCL. Il nascente laboratorio di interferometria X/ottica deve essere sviluppato ed orientato ad acquisire la leadership internazionale per la scala sub-nanometrica. La possibilità di utilizzare la spaziatura atomica come riferimento assoluto di lunghezza è una opportunità unica di sviluppo scientifico e tecnologico. Collaborazioni scientifiche sono in atto per trasferire le competenze INRIM nell’ambito della movimentazione alla scala della dimensione atomica all’interferometria a neutroni presso Institut Laue-Langevin (Francia - Grenoble) e Atom Institute (Austria - Vienna). Nel campo dell’interferometria a neutroni, in collaborazione con ATI (Atom Institute - Vienna) e ILL (Institut Laue-Langevin - Grenoble), sono previsti esperimenti dedicati per definire il set-up sperimentale più idoneo per la separazione dei cristalli di un interferometro a neutroni. Prosegue inoltre la ricerca sulla topografia a contrasto di fase a supporto dell’interferometria X/ottica a cristalli separati per la verifica e lo studio del comportamento delle superfici e del bulk del cristallo, nonché lo studio sulle deformazioni elastiche sulle sfere dovute agli appoggi cinematici presenti negli esperimenti sviluppati per la misura di volume presso NMIJ e PTB.

L’INRIM è in costante collaborazione con l’industria aerospaziale e con le agenzie spaziali con attività di **metrologia per lo spazio** volte allo sviluppo di sistemi di misura per applicazioni spaziali. L’attività di ricerca sullo sviluppo di sistemi di misura per applicazioni spaziali è in costante crescita. In particolare, tutte le moderne missioni per lo studio del cosmo (GAIA, LISA) e per l’osservazione della terra (GRACE, GOCE, NGGM), per la conferma di principi della fisica (MICROSCOPE, GG), necessitano di raffinati strumenti di misura. Così come è necessaria la caratterizzazione metrologica di sottosistemi (thrusters, star-trackers, accelerometri). Le tecniche interferometriche nello spazio e di visione iperspettrale, sono uno dei punti su cui ESA sta sviluppando competenze che la distinguono dalle altre grandi agenzie sovranazionali e che stanno segnando il successo in missioni come LISA-Pathfinder, GOCE, PRISMA (ASI) e quelle future, LISA, NGGM, e su cui il settore scientifico potrà inserirsi fornendo competenze tecniche e scientifiche, e la

riferibilità metrologica necessaria. Nel triennio è previsto, riunendo le diverse competenze presenti all'interno della divisione, un consolidamento della partecipazione di INRIM all'interno del consorzio della missione LISA ([www.lisamission.org](http://www.lisamission.org)), al fine di supportare le fasi di realizzazione dell'antenna gravitazionale, sia dal punto di vista della realizzazione di test bed per soluzioni tecniche specifiche, sia per la individuazione e la valutazione dei contributi al bilancio di incertezza. È prevista una possibile collaborazione con il dipartimento di fisica dell'Università di Trento. Questa attività, oggi basata su una serie di contratti di taglia medio-piccola, può essere strutturata in modo più coordinato e arricchita da infrastrutture dedicate per incrementare la capacità di partecipazione a bandi futuri.

### **Misure elettriche ed elettroniche**

Nel campo della **resistenza elettrica**, l'attività di ricerca sarà rivolta all'estensione delle capacità di misura della resistenza elettrica in regime continuo fino a 10 Pohn mediante sistemi auto costruiti e ponti automatici di tipo commerciale. Verranno inoltre portate avanti processi di caratterizzazione di resistori di altissimo valore ( $> 100 \text{ Tohm}$ ).

Per quanto riguarda la **tensione continua** nel triennio verrà progettato e realizzato un nano-divisore automatico di tensione continua a rapporti fissi in grado di realizzare rapporti decadici da 10:1 a 10<sup>7</sup>:1. Verranno portate avanti attività volte all'analisi e alla caratterizzazione delle taratura e d'uso per l'impiego nella taratura di nano-voltmetri.

Nel campo delle **alte tensioni e forti correnti**, continuerà l'attività sulla caratterizzazione degli archi elettrici in ambito ferroviario ai fini della diagnostica delle reti e l'analisi della power quality (progetto EMPIR 16ENG04 MyRails). Nel triennio, verranno effettuati studi sull'immunità e la robustezza degli APR (Droni) agli effetti dei campi elettrici a bassa frequenza, per stabilire requisiti e metodi di validazione per i velivoli che operano in prossimità di linee elettriche, ad esempio per ragioni ispettive e di controllo degli elettrodotti. Verrà inoltre sviluppato un sistema di caratterizzazione e validazione di strumentazioni per la diagnosi predittiva mediante firma elettrica.

Per quanto riguarda le **grandezze elettriche ac e dc**, una parte rilevante della ricerca riguarderà l'applicazione in ambito elettromedicale di tecnologie sviluppate nel campo della metrologia elettrica. In particolare continuerà la sperimentazione con i prototipi wearable per la messa a punto di software e firmware con lo sviluppo di nuove funzionalità. Verranno inoltre sperimentati sensori innovativi per la determinazione di disfunzioni neurodegenerative.

### **Termodinamica fisica**

Una parte importante dell'attività di ricerca nel settore della **termometria**, è legata allo sviluppo di metodi di misura avanzati finalizzati alla realizzazione di nuovi campioni primari (acustici, a microonde, ottici). In questo contesto, nel triennio è prevista la realizzazione della nuova definizione del kelvin (*mise en pratique*) con metodi primari acustici (AGT) e a microonde (RIGT), anche nell'ambito dei progetti EMPIR 15SIB02 InK 2 e 18SIB02 Real-K. Verrà inoltre fornito un sostanziale contributo di metrologia termica a supporto di un metodo di termometria primaria spettroscopico (DBT) sviluppato in collaborazione. Verranno svolte ricerche volte alla determinazione delle differenze ( $T - T_{90}$ ) fra la temperatura termodinamica  $T$  e la sua approssimazione  $T_{90}$  realizzata attraverso la Scala Internazionale di Temperatura (ITS-90). Per quanto riguarda la scala di temperatura, verranno condotte attività per il miglioramento della ITS-90 ad alta temperatura attraverso lo studio e l'utilizzo di punti fissi eutettici metallo-carbonio (Pt-C, Ru-C, Ir-C, Re-C) e, a temperature più basse, attraverso la realizzazione e lo studio di nuovi punti fissi (SF<sub>6</sub> o CO<sub>2</sub>, Xe) della ITS-90 proposti come alternativi al punto triplo del mercurio; verrà inoltre avviato uno studio su metodi di misura dell'omogeneità di termocoppie. Una parte importante dell'attività di ricerca sarà rivolta allo studio di metodi e tecniche di misura innovative, inclusi lo sviluppo di nuovi sensori basati su fosfori termosensibili e di sistemi di riferimento per la misura della temperatura superficiale con metodi non a contatto, la termometria cosiddetta *whispering gallery* basata sulla misura dell'indice di rifrazione di campioni solidi dielettrici. Nell'ambito del progetto EMPIR 17IND04 EMPRESS2, verrà sviluppato un termometro a fibra ottica basato su fosfori termografici per la misura in situ della temperatura superficiale (fino a 1000 °C) per lo sviluppo di sistemi di frenatura utilizzati in campo automobilistico. Grazie alle diverse competenze presenti in divisione, la partecipazione al progetto EMPIR 18SIB04 QuantumPascal porterà allo sviluppo di campioni primari di pressione basati su metodi a microonde precedentemente utilizzati in termometria primaria. Si ritiene inoltre interessante avviare, nella seconda metà del triennio, un progetto di sviluppo di sensori in fibra ottica e di sensori *quantum-based* nanostrutturati. Tale progetto richiede la verifica della disponibilità del NIST, che è leader in questo campo di ricerca, a una fattiva collaborazione.

In **igrometria** l'attività di ricerca è rivolta allo sviluppo delle attuali capacità di misura per estenderne gli intervalli di lavoro in temperatura, con la realizzazione di nuovi generatori in grado di funzionare fra -100 °C e 180 °C, e in pressione, da valori sub-atmosferici fino a 0.6 MPa, anche con tecniche basate su risonatori a microonde. Tali capacità sono il presupposto per la realizzazione di nuovi campioni primari e lo sviluppo di

metodi di misura utili in svariati ambiti di applicazione dalla caratterizzazione di parametri atmosferici ai processi di essiccamento industriali.

Le attività di ricerca rivolte alla misura di **proprietà termofisiche** riguardano una varietà di fluidi puri o miscelati in fase gassosa o liquida, anche metastabile, su un esteso intervallo di temperatura e pressione. I fluidi e materiali oggetto di studio, rivestono particolare interesse scientifico o tecnologico in contesti aventi finalità ambientali, incluso il risparmio energetico, o di applicazione tecnologica e industriale. Fra le proprietà e le sostanze che saranno oggetto di misura nel prossimo triennio vi sono: la velocità del suono e la polarizzabilità di gas inerti (He, Ar, Ne, Xe), la velocità del suono, la densità e la pressione di vapore dell'acqua (pura, oceanica, pesante, sottoraffreddata), la velocità del suono e la densità di refrigeranti a basso impatto ambientale (olefine fluorurate), la velocità del suono e la densità di idrocarburi e miscele di idrocarburi (metano, gas naturale anche liquefatto nell'ambito del progetto EMPIR 16ENG03 LNG3), la velocità del suono in aria secca e umida (anche nell'ambito del progetto EMPIR 18SIB01 Geometre).

### **Termodinamica applicata**

Nel campo della **chimica e analisi statistica associata**, verranno sviluppati modelli e codici per il trattamento statistico di oggetti multicomponente, per applicazioni chimico/ambientali e campioni primari e materiali di riferimento di gas serra e loro precursori (CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>) mediante due metodi primari complementari in grado di garantire i valori di incertezza obiettivo richiesti dal WMO (1 ppm per CO<sub>2</sub>), con particolare riguardo alla composizione della matrice e alla identificazione e quantificazione delle impurezze. Accanto alla gravimetria, verranno condotte misure e sviluppati modelli per la diluizione dinamica. Verrà migliorato il sistema di preparazione di miscele in diluizione dinamica di CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, anche con automazione di alcune parti del sistema M e sviluppo della versione 2.0 del Calibration Curve Computing (CCC), al fine di migliorare le incertezze di preparazione e di verifica analitica, con il conseguente sviluppo del bilancio delle incertezze per la taratura di strumentazione analitica mediante miscele primarie da diluizione dinamica (EMPIR 17NRM05 EMUE). In relazione ai campioni di CO<sub>2</sub>, verrà ottimizzata la procedura di preparazione di miscele gassose di riferimento e migliorata l'incertezza associata per la misura dei rapporti degli isotopi stabili del CO<sub>2</sub> nell'ambito del progetto EMPIR Metrology for Stable Isotope Reference Standards (16ENV06 SIRS).

Verrà avviato lo sviluppo di modelli per dati composizionali nell'ambito del 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", con l'implementazione di modelli probabilistici tramite Metodo Monte Carlo, applicato sia a dati simulati sia sperimentali, (es. purezza di materiali di riferimento, gas naturale). Si proseguirà nella collaborazione e supporto metrologico ad istituzioni nazionali che si occupano del monitoraggio di alcune Variabili Oceaniche Essenziali - EOVS (ENEA - Centro Ricerche Ambiente Marino, OGS), con l'obiettivo di stabilire dei corretti percorsi per la riferibilità metrologica delle misure in ambito marino (valutazione delle incertezze per misure di parametri chimico/fisici marini; sistemi e metodiche di misura di pCO<sub>2</sub> in acqua di mare). Verranno inoltre condotte attività di ricerca legate all'impiego della termogravimetria e allo studio di tecniche elettrochimiche (Titolazione Karl Fischer e analisi Evolved Water Vapour) per la determinazione del contenuto di acqua in matrici reali.

Nel campo della **termometria termodinamica per contatto**, gran parte delle attività di ricerca del triennio verranno condotte nell'ambito di progetti Europei. Le ricerche previste nel progetto H2020 MIDAS, riguarderanno la caratterizzazione in termini di incertezze di misura e condizioni operative (accelerazioni, altitudine, velocità relativa dell'aria) di sensori di temperatura innovativi e compatti per velivoli; verranno inoltre caratterizzati sensori innovativi di temperatura per velivoli, in collaborazione con SELT, Piaggio e Polito. I lavori si svolgeranno nel tunnel a vento EDDIE realizzato e operativo all'INRIM, in grado di riprodurre condizioni atmosferiche realistiche. In seguito all'avvio del progetto EMPIR 18SIB02 RealK, il contributo di questo settore riguarderà la valutazione dei contributi all'incertezza di misura dovuti alla "Type3 Non uniqueness" in termometri campioni ITS-90; si avvieranno i sistemi e verranno eseguiti i test preliminari. Sempre all'interno del progetto RealK, è stato proposto un Research Mobility Grant, da espletarsi presso LNE-CNAM a Parigi, per la realizzazione di un sistema attivo di controllo della pressione all'interno del circuito di gas del fast-AGT attualmente in sviluppo. Ulteriori attività di ricerca riguarderanno il miglioramento delle tecniche di misura mediante sistemi termodinamici a controllo di pressione "Heat Pipes" per la riduzione delle incertezze dei termometri campione ad alta temperatura HTSPRT tra 660 °C e 960 °C.

Per quanto riguarda le attività nell'ambito della **meteorologia e climatologia**, un'interessante applicazione sarà il supporto alla climatologia nella valutazione di serie storiche e record di temperatura. In questo contesto, verrà conclusa la valutazione dei due record di temperatura: Kuwait Mitribah luglio 2016, Pakistan Turbat maggio 2017 su mandato del WMO con conseguente inclusione dei due record nel database dei record e mediante comunicato stampa del WMO. Verrà inoltre realizzato un test site per il "Surface Reference Network" del Global Climate Observing System (GCOS) delle Nazioni Unite. Proseguiranno studi e campagne di taratura anche on-site per sensori termici impiegati in climatologia, tra cui i siti di misura di

permafrost alpino e di condizioni ambientali in grotta, con miglioramento delle tecniche di misura negli studi di aree glaciali, periglaciali e in grotta. In collaborazione con ISAC-CNR verrà fornito supporto alla realizzazione di un laboratorio permanente di metrologia in Artico (Svalbard).

Proseguirà lo studio delle caratteristiche tecniche e la valutazione dell'incertezza nella transizione tra radiosonde tipo RS92 a RS41 quali riferimenti di misura per il GCOS GRUAN, in tunnel "EDDIE", proseguiranno inoltre nell'ambito del progetto "Complete" (coordinato dal Politecnico di Torino) i lavori di caratterizzazione dei materiali per gli involucri delle miniradiosonde e sulle performance dei sensori. Nel progetto H2020 "Copernicus Climate Change Service" 311° - Lot.3 si svilupperà un "users uncertainty calculation tool" per la valutazione di incertezze nella "near surface temperature". Nell'ambito del progetto EMPIR 18NRM03 "INCIPIT, verrà sviluppato un sistema di taratura per pluviometri non a contatto. Si rende di rilievo l'acquisizione e montaggio in tunnel "EDDIE" di un generatore di spettro solare per completare l'impianto.

Sui temi relativi alle **interazioni radiative tra sorgenti e materiali**, verranno condotte attività di ricerca volte al miglioramento delle tecniche in applicazioni Smart, IoT anche per di mappatura diffusa, in applicazioni tecnologiche e ambientali e preseguirà il coordinamento del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE. Verranno portati avanti studi dell'invecchiamento di materiali esposti in campo e valutazione di prestazioni metrologiche e di caratterizzazione del comportamento radiometrico dei materiali e sorgenti generatrici di spettro. E' prevista l'installazione di un goniometro per l'analisi dei materiali e di sensori. Di particolare importanza saranno le attività svolte nell'ambito della collaborazione con UniTO per lo studio dell'Appearance e l'allestimento del laboratorio mobile per conto di ANAS.

Le attività di ricerca nell'area della **termometria applicata all'industria**, si svolgono in collaborazione con partner industriali nazionali su progetti europei, nazionali e regionali tra cui si annoverano il progetto EMPIR 17IND12 Metrology for the Factory of the Future – Met4FoF e il progetto HOME (POR/FESR 2014-20 Reg. Piemonte – Industria 4.0). L'INRIM in collaborazione con un partner industriale svilupperà un sistema di riferimento per la taratura di macchine automatiche di test (ATE) per sensori MEMS e un dimostratore di Digital Calibration Certificate (DCC). Verrà inoltre condotta la validazione metrologica di un dimostratore per l'immagazzinamento di energia termica e del sistema del processo della materia prima in biomassa presso un partner industriale regionale.

## **Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)**

### ***Chimica Fisica e Nanotecnologia***

Per la chimica fisica e le nanotecnologie, nel triennio il focus è sulla la metrologia alimentare, con l'obiettivo dello sviluppo di metodi metrologici per determinare a) la provenienza d'origine dei prodotti alimentari, b) le concentrazioni in tracce di sostanze contaminanti e c) individuare trattamenti effettuati sul prodotto alimentare, della complessa filiera alimentare. Nell'ambito dei **contaminanti e biosicurezza**, la divisione svilupperà nuove tecnologie per la determinazione e quantificazione di micotossine nelle matrici alimentari maggiormente soggette alla contaminazione, con metodi di misura alternativi, i.e. la voltametria e la spettroscopia vibrazionale, da confrontare con la spettroscopia a fluorescenza. Metodi di misura rapidi e diretti con spettroscopia (IR) Raman e infrarossa per la determinazione dell'anidride solforosa presente nel vino. Metodi analitici innovativi per individuare tracce di pesticidi nelle matrici alimentari integre. Tecniche spettroscopiche avanzate, i.e. la *Surface Enhanced Raman Scattering* (SERS), che garantisca specificità chimica ed elevata sensibilità della misura. Con le tecniche enunciate è possibile l'analisi *non-contact* e non distruttiva del campione alimentare.

Sviluppo di metodi semplici, rapidi e affidabili, come le tecniche spettroscopiche (Raman, Fourier-Transform Infrared (FT-IR) e fluorescenza), per monitorare i processi di degradazione degli oli di oliva extra vergine secondo le indicazioni degli sviluppi più recenti della legislazione europea

Per l'area rilevante degli **imballaggi per alimenti**, si svilupperanno sistemi di misura per la caratterizzazione della superficie dei materiali per l'imballaggio alimentare; sviluppo di metodi e tecniche di analisi per la quantificazione della migrazione di agenti attivi (nanoparticelle o molecole naturali) dal materiale per l'imballaggio (imballaggio attivo) al cibo.

Nelle **Nanotecnologie per la metrologia alimentare**, si studierà l'uso di materiali nanostrutturati per lo sviluppo di tecniche analitiche ad alta sensibilità e specificità verso gli analiti. In particolare, impiego di materiali nanostrutturati metallici nella spettroscopia Raman per sfruttare effetti di amplificazione del segnale, al fine di incrementare la sensibilità analitica. Sviluppo di tecnologie nanofotoniche e spettroscopia Raman amplificata da effetti plasmonici mediante l'uso di nanoparticelle metalliche e/o di substrati solidi nanostrutturati in ambito SERS. Integrazione della microscopia a scansione di sonda con la spettroscopia Raman (Tip-Enhanced Raman Spectroscopy - TERS), con risoluzione nanometrica di immagini chimiche di substrati nanostrutturati e di molecole. Applicazioni del TERS per la caratterizzazione a livello nanometrico di superfici e multistrati destinati agli imballaggi alimentari, funzionalizzati con nanoparticelle o self assembled

monolayer di molecole naturali o materiali biocompatibili, per lo sviluppo di imballaggi alimentari attivi e/o intelligenti

### **Elettronica Quantistica**

Per l'elettronica quantistica, nel triennio l'attività di ricerca si concentra su a) sistemi e dispositivi a grafene per l'elettronica, b) sulla metodi innovativi per le grandezze della capacità, la potenza e la corrente e c) sulle tecnologie quantistiche a singolo fotone a micro-onda

Nella **caratterizzazione di dispositivi e sistemi**, continuerà l'attività di del Progetto 16NRM01 GRACE di caratterizzazione elettrica di dispositivi in grafene, oltre alla collaborazione con l'ente metrologico statunitense collaborazione con NIST per modellizzare, fabbricare e caratterizzare dispositivi e circuiti integrati per effetto Hall quantistico in grafene, da impiegare in sistemi di misura innovativi. Infine, si procederà con gli studi sulla caratterizzazione di materiali micro e nanostrutturati e di dispositivi elettronici quantistici in temperatura e campo magnetico.

Nel quadro delle ricerche su **capacità, la potenza e corrente**: saranno sviluppati nell'ambito del progetto 18SIB07 GIQS dispositivi per effetto Hall quantistico, in GaAs e grafene, per la realizzazione pratica del farad nel nuovo SI, con l'impiego ponti di impedenza digitali; sarà studiata e realizzata l'elettronica singolare per la realizzazione pratica dell'ampere, con dispositivi mesoscopici e setup di misura criogenico per la manipolazione e la rilevazione di cariche elettriche elementari per la metrologia delle basse correnti; partendo dai risultati del progetto 15RPT04 TracePQM, si svilupperanno metodi a campionamento simultaneo di profili d'onda arbitrari, riferiti ai campioni elettrici quantistici, per la misura della potenza elettrica, di parametri della qualità della potenza e lo sfasamento tra fasori isofrequenziali, con incertezza obiettivo di  $<20 \mu\text{W/VA}$  il cui contributo dei digitalizzatori sia  $<2 \mu\text{W/VA}$ .

La **manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde** vedrà nell'ambito del progetto 17FUN10 Parawave la modellizzazione e realizzazione di dispositivi per la manipolazione di singoli fotoni a microonda e sarà realizzata una piattaforma criogenica per la caratterizzazione a microonda di amplificatori a banda larga (cosiddetti a travelling-wave o TWJPA) e a banda stretta (risonatori) basati sull'effetto Josephson. Nel progetto INFN SIMP sarà studiata, in collaborazione con INFN TIPFA/FBK Trento, la possibilità di realizzare un setup per la caratterizzazione di rivelatori di singolo fotone alle microonde presso TIFPA/FBK Trento.

### **Fotometria e Radiometria**

Lo sviluppo di questo settore nel triennio è focalizzato sullo sviluppo di fotorivelatori a singolo fotone per la transizione dalle tecniche classiche a quelle quantistiche nella fotometria e radiometria. In particolare, i temi più rilevanti saranno la **Modellizzazione di fotorivelatori predicibili (PQED)** e la loro validazione come campione primario; funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico del PQED (progetto EMRP ChipScale); si continuerà la ricerca sui **Fotorivelatori criogenici a singolo fotone** con la realizzazione di dispositivi superconduttivi TES a bassa capacità termica con risoluzione energetica inferiore a 0.1 eV nell'IR e microonde di interesse per l'astronomia e più in generale per la fisica fondamentale; sviluppo di array di rivelatori superconduttivi MKID. Sarà rilevante lo sviluppo della **riferibilità di misure a singolo fotone** con lo sviluppo di strumenti e metodologie per la caratterizzazione di sorgenti e rivelatori a singolo fotone operanti nella prima e terza finestra (850 nm e 1550 nm) di interesse per le telecomunicazione e la QKD, oltre allo sviluppo di sorgenti singolo fotone quale campione per la radiometria (EMRP Siqust)

Infine, nell'area della **fotometria classica e quantistica** si svilupperanno di tecniche innovative per la misura della risposta spettrale dell'occhio per applicazioni fotometriche, in particolare con tecniche di ghost imaging e imaging plenottico per l'analisi della risposta spaziale della retina e lo sviluppo di sorgenti a singolo fotone e coppie di fotoni correlati per la determinazione della soglia di rivelazione dell'occhio con sorgenti quantistiche

### **Ottica Quantistica**

L'ambito di sviluppo si articolerà su: a) **generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana** – Saranno sviluppate e ottimizzate sorgenti di singolo fotone, sia tramite heralding da sorgenti "parametric down conversion" sia tramite emissione da centri di colore in diamante. Le applicazioni riguarderanno protocolli e misure di conteggio di singolo fotone per la metrologia e l'informazione quantistica e l'imaging in fluorescenza a singolo fotone, in particolare in ambito biofisico. Saranno migliorate sorgenti di twin beams per applicazioni al ghost imaging e di nuovi protocolli di imaging quantistico. Verrà realizzata una sorgente di coppie fotoni entangled basata sull'interferometro di tipo Sagnac. Verranno realizzati e studiati interferometri ottici con l'obiettivo di superare i limiti di sensibilità imposti dallo shot noise sia mediante tecniche di correlazione tra interferometri, sia operando con twin beams e/o stati squeezed;

b) **nuovi paradigmi della misura quantistica** – studio di misure quantomeccaniche "deboli", al fine di giungere a misure amplificate di osservabili, per la realizzazione di protocolli innovativi nel campo delle

tecnologie quantistiche (con particolare attenzione al quantum sensing) e la quantificazione delle risorse necessarie. Si studierà inoltre l'applicazione dell'effetto Zenone quantistico al fine di ridurre il rumore. Si studieranno infine i fondamenti della misura in meccanica quantistica e nuove idee nell'ambito della misura in meccanica quantistica, quali la teoria degli agents. Scopo ultimo di queste ricerche è lo sviluppo, all'interno della cosiddetta "second quantum revolution", di una metrologia "quantistica" (cioè basata sulle correlazioni specifiche degli stati quantistici).

c) **metrologia per le tecnologie quantistiche** – Saranno sviluppati metodi di caratterizzazione di risorse e dispositivi utilizzati in tecnologie quantistiche quali l'informazione quantistica; in particolare, la distribuzione quantistica di chiavi crittografiche. Saranno studiati metodi quali la tomografia quantistica (di stati, canali e misuratori a valori operatoriali positivi) anche in relazioni a nuovi sviluppi quali la matrice pseudodensità, la quantificazione dell'entanglement (e misure di correlazioni quantistiche).

### **Tempo e Frequenza**

Lo sviluppo del triennio è articolato, con temi principali quali:

a) **Campioni ottici di frequenza, lungo tre sviluppi complementari. il Campione ottico Yb** con raggiungimento accuratezza in parti per  $1E-18$ . Il campione a Itterbio è operativo e oggi capace di un'accuratezza di  $3e-17$ . Lo sviluppo ulteriore si concentrerà sulla riduzione dell'incertezza da corpo nero e da effetti da reticolo ottico. i **nuovi campioni ottici quantum enhanced**, basati su atomi di Sr. La tecnica dello spin squeezing con tecniche cosiddette di cavity-QED mira a migliorare la stabilità del campione sotto il limite classico di misura, con il fine di guadagnare un fattore dieci per raggiungere l'accuratezza di parti in  $1e-18$  in meno di 1000 secondi. Un **campione ottico in regione UV**, basato su atomi di Cd. La regione dell'ultravioletto, pur essendo molto importante per l'analisi chimica, anche nei settori della metrologia alimentare già presente in divisione, di fatto non vede l'uso diffuso campioni primari e tecniche di misura avanzate, che ne migliorerebbero le prestazioni. Il campione al Cadmio vuole colmare questo gap metrologico, e al tempo stesso sfruttare le proprietà del cadmio per assicurare orologi più accurati attraverso la riduzione degli effetti di corpo nero (il Cd ha una sensibilità di dieci volte inferiore rispetto a Yb e Sr).

b) **Nuovi oscillatori ultrastabili ottici e a microonda**. La possibilità di avere sorgenti a basso rumore di fase è indispensabile in applicazioni scientifiche T/F. La catena nella regione del visibile deve consolidare la capacità di produrre incertezze inferiori a  $1e-17$  su tutta la scala temporale delle misure. L'uso di cavità ultrastabili e pettini ottici di frequenza permette di generare microonda a basso rumore e di trasferire alta stabilità in varie regioni dello spettro visibile.

c) **Applicazioni scientifiche basate sul sistema Galileo**. Oltre che per la navigazione e la distribuzione di segnali di tempo, l'insieme degli orologi di Galileo e degli orologi a terra permette l'indagine nella fisica fondamentale, in particolare quella sulla materia oscura e sugli effetti gravitazionali. Studi condotti usando anche il link ottico di frequenza sono possibili e in fase di progettazione in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana

d) **Sistemi quantistici molecolari e ibridi**. Da un lato, si proseguiranno gli studi di sistemi molecolari rallentati e/o raffreddati con tecniche laser. Dall'altro di studieranno sistemi ibridi con l'accoppiamento di ioni di Bario e atomi di Litio ultrafreddi. Realizzazione di cristalli di Bario in trappole elettro-ottiche, e di gas degeneri di Litio fermionico. Misura della transizione di orologio dello ione di Bario a 1762nm.

e) **Tecniche T/F in fibra ottica in applicazioni di radioastronomia, geodesia spaziale e geofisiche**, monitoraggio sismico ed ambientale. Il collegamento di due radiotelescopi (a Bologna e a Matera) permetterà l'uso di un orologio comune per le due radioantenne, con uno studio sul miglioramento dell'indagine astronomica e geodetica, oltre che per il monitor dei ritardi introdotti dalla troposfera. La possibilità di usare le tecniche T/F su fibra nell'ambito sismologico verrà approfondito, in collaborazione con partner internazionali, per valutare lo sviluppo di network sottomarini di monitor sismico.

## **2.3 - RUOLO NMI**

### **Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)**

#### **Scienza e Tecnologia alla Nanoscala**

Nel triennio è previsto lo sviluppo di punte per tecnica a scansione quali Atom Probe Tomography e nanoFTIR con la messa a punto della preparativa e dei processi per la loro realizzazione. E' previsto l'avvio, nell'ambito della collaborazione con IMEC (Leuven, Belgio) di un confronto internazionale di Atom Probe Tomography con campioni di riferimento fabbricati in INRIM–Sarà inoltre avviato un confronto internazionale nell'ambito del TWA2 Surface Chemical Analysis del progetto Vamas (Versailles Project on Advanced Materials and Standards). L'INRIM ospiterà a Torino lo Steering Committee di VAMAS nel maggio 2021. Personale del settore contribuirà allo sviluppo della rete EMN European Metrology Network for Quantum

Technologies. I campioni di riferimento per ATP sono stati sviluppati nell'ambito del progetto 14IND01 3DMetChemIT mediante 18 mesi n dottorato in cotutela presso IMEC, e a differenza dei processi di fabbricazione precedenti, non si avvale di lavorazioni Focused Ion Beam ma di litografia ottica ed elettronica e deep RIE, evitando così la contaminazione di ioni gallio.

### **Campi e sistemi elettromagnetici**

L'attività nel triennio sarà finalizzata a rafforzare il ruolo NMI nei seguenti settori: campi e dosimetria elettromagnetica, misura di alte tensioni e forti correnti DC e AC, carica apparente.

In ambito EURAMET, l'INRIM contribuirà ai lavori del SC Power&Energy e all'avvio delle attività della rete metrologica europea Smart Electricity Grids (EMN-SEG). In qualità di partner del progetto 18NET03-SEG-net, concentrerà il suo contributo sulla formazione con l'organizzazione di un programma di corsi, workshops e scuole di eccellenza.

Si estenderà la riferibilità nel campo delle misure di forti correnti alternate sino a 10 kA, per rapporti sino 2000 A/A e, per quel che riguarda le tensioni alternate e continue, alle misure in presenza di ripple o distorsioni e in condizioni dinamiche, quali quelle che si possono riscontrare nelle reti elettriche, nei sistemi ferroviari e in quelli di ricarica induttiva di potenza. I sistemi campione messi a punto saranno validati e saranno formulate specifiche CMC. Si organizzerà un confronto di misura di intensità di campo magnetico da 10 Hz a 150 kHz con NPL e SPEAG, per validare i sistemi di generazione di campo magnetico di riferimento realizzati nell'ambito del progetto 16ENG08MICEV. Si effettuerà inoltre un confronto di misura di carica apparente per sistemi di misura di scariche parziali (EURAMET.EM-S36).

Nel triennio proseguirà inoltre l'attività di disseminazione nei settori di competenza con l'emissione di certificati di taratura per laboratori nazionali ed esteri, operanti in ambito industriale e di protezione ambientale. Si effettuerà la revisione delle procedure tecniche di misura a valle delle risultanze delle visite ispettive interne e l'emissione di nuove procedure in relazione alla messa a punto di nuove capacità di misura. Si effettueranno confronti inter-laboratorio per strutture accreditate. Verrà organizzato un confronto di misura di induzione magnetica alternata (progetto MICEV). Infine, si prevede di emettere 10 procedure di taratura ed estensione del campo di misura della CMC relativa al rapporto di forti correnti alternate.

### **Acustica in Aria e Ultrasuoni**

Nel triennio in oggetto proseguirà l'attività di collaborazione 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". Personale del settore presiederà quindi il sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e parteciperà ai lavori del sottocomitato "Sound in Air". Il settore sviluppa tecnologie e metodi di misura d'interesse applicativo, mediante attività di ricerca finalizzata, raggiungendo un livello di maturità tecnologica dei prodotti realizzati pari alla validazione nell'ambiente in cui il settore opera. L'attiva partecipazione del personale ai lavori normativi internazionali (IEC TC29 e IEC TC87) consente di consolidare le metodologie di taratura e verifica delle caratteristiche di prodotti in ambito acustico e ultrasonoro al fine di assicurare la verifica del rispetto dei requisiti prestazionali definite dalle normative internazionali di prodotto. La consolidata esperienza permette all'istituto di esercitare un ruolo di assoluto riferimento per quanto riguarda aspetti normativi internazionali, con particolare attenzione alle più recenti innovazioni nel settore dell'elettroacustica e ultrasuoni per applicazioni biomedicali. Per mantenere i servizi legati alle attività di Acustica in Aria si prevede un adeguamento dei sistemi di misura (programmi software di gestione delle catene di taratura) presenti nel laboratorio campioni di pressione acustica. Gli aspetti di ricerca nel campo degli Ultrasuoni legati al progetto EMPIR 18HLT06-RaCHy si prevede avranno delle importanti ricadute sulle seguenti specifiche tecniche: IEC TC87 TS 63081: "Methods for the characterisation of the ultrasonic properties of materials"; IEC TC87 TS 62900: "Measurement-based simulation in water and complex media".

### **Scienze e tecnologie biomediche**

Nell'ambito delle attività per i campioni nazionali si prevede nel triennio di sviluppare il metodo k0-INAA per la misura di elementi principali e in tracce e la determinazione dell'incertezza; a questo proposito si effettueranno misure di gradiente di flusso neutronico nei canali di irraggiamento del reattore Triga Mark II e si implementerà e testerà un software per la valutazione del budget di incertezza.

Si prevede inoltre di valutare l'incertezza di misura nell'analisi cellulare/biomolecolare in linea con gli obiettivi del CCQM; nel CCQM-CAWG, si parteciperà allo studio pilota P197 ("Proliferative stem cell number per unit area") e ad uno studio preliminare sul confronto tra tecniche di microscopia e citofluorimetria, e si proporrà un confronto sulla quantificazione della proliferazione cellulare per unità di volume, propedeutico per lo sviluppo di CMC nell'IVD. Si completerà inoltre la guida ASTM WK55364 per la misura della proliferazione cellulare in scaffold 3D.

Si contribuirà alla creazione di una rete autosostenibile con obiettivi scientifici strategici, come lo sviluppo di software per "virtual experiment" nell'EMN MathMet, mentre in TraceLabMed si contribuirà all'organizzazione di confronti tra NMI e laboratori operanti nell'IVD.

### ***Magnetismo, Materiali e Spintronica***

Il settore proseguirà nel triennio con il consolidamento del ruolo primario a livello internazionale nelle misure magnetiche sui materiali e nella riferibilità delle unità magnetiche. Verranno poi effettuate attività mirate all'anticipare dei bisogni metrologici nei campi delle spintronica e nanomagnetismo in rapida evoluzione in cui manca in maniera pressochè totale sia l'esistenza di norme che la riferibilità.

L'attività nel triennio è volta al miglioramento e consolidamento delle CMC in ambito magnetico, in particolare nella metrologia del campo magnetico ( $< 20$  mT) e nelle perdite di energia nei materiali magnetici in regimi non convenzionali. Verrà effettuata disseminazioni di misure di proprietà elettromagnetiche dei materiali. Il settore si propone di presentare e coordinare la proposta EMPIR JRP "Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion". Proseguirà la partecipazione al progetto EMPIR PreNormative MagNaStand per la definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle. In questo ambito si prevede di valutare il budget dell'incertezza di misura delle grandezze magnetiche, quali magnetizzazione di saturazione e campo coercitivo in misure di magnetometria SQUID e VSM. In collaborazione con il gruppo Robert BOSCH GmbH e nell'ambito di un contratto industriale partirà un'attività per la caratterizzazione di lamierini magnetici in regime di magnetizzazione 1D e 2D.

### **Metrologia applicata e ingegneria (AE)**

La Divisione, nell'ambito del ruolo istituzionale di NMI, cura la realizzazione e la disseminazione delle unità di misura delle grandezze meccaniche e termodinamiche e la disseminazione delle unità di misura delle grandezze elettriche. In particolare, la disseminazione delle unità viene garantita attraverso la fornitura di servizi di taratura per i settori di competenza, con un fatturato annuo pari a circa 1200 keuro/anno. Garantisce 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). Nell'ambito del ruolo NMI, la Divisione partecipa regolarmente ai confronti di misura in ambito EURAMET e CIPM nei settori della massa e grandezze apparentate, vibrazioni, lunghezza, termometria, elettromagnetismo, chimica (analisi di gas e analisi organica).

In questo contesto, la Divisione si propone i seguenti obiettivi di carattere generale: garantire la continuità nella disseminazione delle grandezze di pertinenza mediante attività di taratura e misura, migliorare il servizio in termini di tempi di emissione dei certificati, riduzione dell'incertezza e ottimizzazione delle risorse, migliorare la capacità di taratura e misura (CMC) esistenti e estenderle in funzione delle esigenze emergenti, mantenere il livello di eccellenza in campo internazionale attraverso la partecipazione a confronti internazionali di misura, anche con ruoli di coordinamento, organizzare confronti interlaboratorio (ILC) per conto di terzi e condurre attività di prova.

### ***Metrologia della massa e delle grandezze apparentate***

Nel campo **masse, volumi e densità**, verrà sviluppato un sistema automatico per misure di massa da 1 mg a 5 g. Il progetto è in attesa da oltre un anno a causa dei ritardi degli ordini. Verrà realizzato un nuovo sistema per pesate idrostatiche per la misura della densità di piccoli campioni, che si propone anche di dimostrare la fattibilità per la realizzazione di un sistema di misura per la misura di densità di sfere di silicio da 1 kg con incertezza relativa inferiore a 10 ppb. Per quanto riguarda le CMC, è prevista l'estensione delle CMC per la taratura di micro pipette e per le misure di densità e il miglioramento delle CMC per le misure di volume di solidi. Verrà inoltre coordinato un confronto EURAMET su campioni di massa, multipli e sottomultipli e sulla taratura di idrometri.

Nelle **portate di liquidi**, è prevista la realizzazione di un nuovo campione per la misura di basse portate, con estensione al di sotto dei 10 L/h, utile anche per dimostrare la fattibilità per la realizzazione di sistemi di misura per applicazioni radiomedicali. Verrà migliorato il banco di misura e, di conseguenza, le CMC associate.

Nel campo delle **pressioni e vuoto**, si porterà a compimento lo sviluppo del campione ad espansione statica, al fine di estendere l'attuale limite inferiore dell'intervallo di pressione coperto da tale campione ( $9 \times 10^{-2}$  Pa), in modo da garantire la riferibilità fino alla decade  $10^{-4}$  Pa; in particolare si finalizzerà il layout del sistema, si procederà alla caratterizzazione metrologica con determinazione dei rapporti di espansione e verrà eseguito un confronto bilaterale. Si terminerà il processo di revisione delle CMC con l'estensione delle capacità di misurazione nel campo da 1 Pa a 15 kPa, a supporto di applicazioni nel campo farmaceutico, delle nanotecnologie e dei semiconduttori.

Nel **portate e volumi di gas**, sono previste attività per la riduzione incertezze impianto MicroGas, l'automazione delle misure dell'impianto BellGas e lo sviluppo del sistema di controllo dell'impianto MeGas

per estendere le capacità di misura. Saranno inoltre avviate le attività preliminari per il laboratorio di taratura per fughe calibrate.

Per quanto riguarda la **forza**, si prevede il miglioramento della disseminazione delle misure di forza multicomponenti mediante lo sviluppo e l'implementazione di nuove metodologie di taratura e di analisi dell'incertezza e il miglioramento dei campioni primari.

Per le misure di **durezza**, verranno apportati miglioramenti dei campioni primari e dei sistemi di misura del laboratorio e realizzato un nuovo microdurometro campione; verranno migliorate le CMC attuali per la taratura dei penetratori di diamante.

Le attività connesse alla **gravità**, saranno indirizzate al ripristino della funzionalità del gravimetro assoluto trasportabile. Per quanto riguarda le CMC, saranno migliorate quelle attuali e richieste nuove CMC per la taratura dei gravimetri assoluti e relativi.

Nel campo delle **vibrazioni**, si lavorerà sulla riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e definizione della sensibilità "digitalizzata", sulla base delle indicazioni del documento "Strategy 2017 to 2027", Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) del 2017, del Comitato consultivo per l'acustica, gli ultrasuoni e le vibrazioni (CCAUV). Verrà condotta la verifica sperimentale del sistema di taratura e la definizione del bilancio di incertezze dettagliato. In ambito del TC AUV di EURAMET, sono state individuate piattaforme comuni per lo sviluppo e il confronto di sistemi per la taratura di sensori digitali anche supportati da progetti di ricerca industriale.

### ***Metrologia della lunghezza***

Nell'ambito della **metrologia dimensionale**, particolare attenzione sarà dedicata al campione del metro, con sostituzione dell'elettronica di controllo dei due campioni He-Ne stabilizzati su I<sub>2</sub> e della cella del campione del Winters. Verrà messa in funzione della nuova sorgente verde Nd-YAG (I<sub>2</sub>) per la stazione dei blocchetti corti, completato un set-up interferometrico "double-ended" per i blocchetti corti e eseguito un confronto iniziale delle misure; è prevista nel triennio la partecipazione ad un confronto sui blocchetti corti. Il campo di misura dei campioni a gradino verrà esteso fino ad 1 mm, con contestuale revisione delle CMC. È previsto lo svolgimento di ILC nel campo delle misure di rotondità e di rugosità. Si prevede di partecipare ad un confronto chiave CCL per le misure d'angolo e coordinare un confronto EURAMET; verrà aumentata l'automatizzazione delle misure d'angolo per migliorare l'incertezza e ridurre i tempi di taratura. E' previsto l'aggiornamento software/hardware della macchina di misura Moore per campioni diametrali e lineari, con integrazione di una tavola rotante di precisione per la taratura completa dei campioni diametrali, con una riduzione stimata dell'incertezza a 70 nm per i diametrali e a 100 nm per i calibri a passo. Verrà coordinato il confronto chiave EURAMET.L-K4 sui campioni diametrali.

Per quanto riguarda la **nanometrologia e metrologia delle superfici**, si vuole estendere le capacità di misura senza contatto di forma e tessitura su campioni e superfici funzionali (metodo areale) e proporre nuove CMC per la taratura del diametro medio di nanoparticelle sferiche. E' prevista la partecipazione a confronti di misura su campioni a larghezza di tratto e nanoparticelle.

Nella **metrologia a coordinate**, verrà sviluppata una nuova capacità di misura per la taratura, anche in eterno, di macchine di misura 1D, completata la stazione di taratura per calibri a passi fino a 1 020 mm, con estensione dell'attuale CMC (limitata ora a 420 mm). Verrà proposto l'aggiornamento (riduzione incertezza) per le CMC dei calibri a passo.

Nella **metrologia per lo spazio**, è prevista la realizzazione di una nuova stazione per la misura dei momenti d'inerzia di satelliti.

### ***Misure elettriche ed elettroniche***

Per quanto concerne la misura delle **grandezze elettriche ac e dc**, verranno condotta la caratterizzazione di una nuova serie di strumenti multifunzione di alto livello per misure elettriche di precisione, con progettazione di dispositivi atti alla taratura degli strumenti multifunzione, con particolare riferimento alle scale in corrente alternata e a quelle termiche di recente introduzione. E' previsto il rinnovo della strumentazione di misura dei laboratori di taratura (laboratorio di taratura strumenti multifunzione, laboratorio campione nazionale di tensione continua e laboratorio di misura della resistenza elettrica) e delle relative procedure tecniche. Verranno condotte attività di sperimentazione per l'estensione delle scale di resistenza in regime continuo con l'acquisizione di nuovi campioni da 10 P<sub>ohm</sub>. Nel campo delle misure elettriche di alto livello sono stati recentemente introdotti nuovi strumenti con caratteristiche superiori a quelli in uso presso i laboratori metrologici primari e secondari. Questo richiederà un lavoro di caratterizzazione della strumentazione e la predisposizione di tecnologie e procedure per effettuare tarature con un livello di precisione adeguato. Verrà inoltre sviluppato un sistema completo di software per la taratura di nanovoltmetri orientativamente nel campo da 100 nV a 10 V. Previsti ILCs su multimetro numerale, calibratore

multifunzione, misuratori Potenza ed Energia, resistenze di elevato valore, taratura di pinze amperometriche in regime continuo ed alternato organizzato per i centri LAT di elevato livello.

Per le **alte tensioni**, verrà condotta un'analisi di fattibilità per l'incremento della tensione per il sistema di generazione per alte tensioni impulsive con il duplice obiettivo di un allargamento del campo di taratura e dell'estensione ampliamento dei servizi di prova offerti. Verrà progettato e realizzato un volume a temperatura controllata per l'area di Alta Tensione, ai fini del miglioramento delle incertezze di taratura e delle possibilità di prova offerte. Verrà progettata e realizzata una rete resistiva riferibile in grado di tarare la strumentazione per la misura dell'isolamento elettrico fino a 5 kV. Verrà inoltre realizzata un'area prove per la verifica dei quadri agli effetti dell'arco interno in bassa tensione e prevista l'estensione e il miglioramento delle CMC dichiarate e la riattivazione delle CMC relative alle tarature di impulso atmosferico. Per le forti correnti, verranno revisionate e rinnovate le attrezzature per le prove di corto circuito e verrà messo in funzione il nuovo laboratorio per prove termiche di lunga durata (3 k€).

### **Termodinamica fisica**

Sviluppo delle attività di mantenimento e disseminazione dei campioni nazionali di temperatura e umidità attraverso un incremento delle capacità di misura e taratura (CMC) e la riduzione delle incertezze associate.

In **termometria**, la disseminazione del kelvin, proseguirà tramite il mantenimento dei punti fissi della Scala Internazionale (ITS-90) nel campo delle temperature intermedie (84 K – 962 °C), criogeniche (4 K – 273 K), e al di sopra di 962 °C con tecniche di termometria a radiazione. In linea con gli sviluppi delle attività e dei progetti di ricerca, verranno collaudate innovative possibilità di disseminazione offerte dalla nuova definizione del kelvin. Tali possibilità assumono particolare rilievo nei campi criogenici e per temperature elevate. Verranno a questo scopo promosse attività di confronto a livello internazionale dedicate. Le attività di tarature di sensori industriali per confronto, con termometri tarati internamente fra -196 °C a 660 °C e con termocoppie campione fino a 1550 °C, saranno rivolte a un incremento del numero di CMC, ed è prevista un'attività di studio di nuovi metodi di misura rivolta alla riduzione dell'incertezza delle CMC esistenti. Nel dettaglio, verrà richiesta la pubblicazione di 9 nuove CMC in ambito CIPM MRA (1 per la taratura di RIRT per confronto da 4 K a 27 K, 5 per la taratura di termocoppie, 3 per la taratura di catene termometriche) e la modifica di 19 CMC già riconosciute nell'ambito del CIPM MRA per riduzione incertezza, campi e condizioni di misura. In particolare il campione al punto fisso del rame sarà rafforzato tramite il confronto fra celle di fabbricazione INRIM ed entrerà in servizio il punto eutettico Co-C con la redazione di una procedura per la taratura di termocoppie e la richiesta della corrispondente CMC. Verranno conclusi il confronto internazionale EURAMET.T-S3 sulla taratura di termocoppie Pt-Pd nell'intervallo fra 419,527 °C e 1492 °C e il confronto bilaterale EURAMET 1457(T-S7) con Tubitak-UME sui parametri di influenza per la realizzazione di scale di radianza fra 156 °C e 1100 °C. Infine verrà progettata un'innovativa cella, utile per la taratura di termocoppie, che conterrà al suo interno tre diversi punti fissi (Cu, Ag, Al).

In **igrometria**, l'attività istituzionale prevede il mantenimento e la disseminazione del campione nazionale di umidità relativa attualmente compreso nell'intervallo di temperature di brina e rugiada da -80 °C a 95 °C e, nel corso del triennio lo sviluppo di un ulteriore campione primario per temperature di brina da -100 °C a -20 °C per pressioni fra 200 hPa e 100 kPa. Contestualmente verrà avviato il processo richiesta e riconoscimento di nuove CMC rese possibili da tale sviluppo. Per quanto concerne la partecipazione a confronti internazionali di misura, verranno concluse le misure per confronto EURAMET.T- K8.1 Comparison of realizations of local scales of dew-point temperature of humid gas, resi disponibili i risultati dei confronti EURAMET.T- K8 "Comparison in high dew-point temperatures" e CCT- K8 " Comparison of realizations of local scales of dew-point temperature of humid gas". E' prevista la partecipazione al confronto EURAMET P1442 Relative humidity from 10 %rh to 95 %rh at temperatures from -10 °C to 50 °C.

Nell'ambito delle **proprietà termofisiche**, sono previste attività propedeutiche alla riattivazione di una CMC per la densità dei liquidi con pesata idrostatica a pressione atmosferica e per temperature comprese tra (5 e 40) °C.

### **Termodinamica applicata**

Nel settore relativo alla **chimica ed analisi statistica associata**, il modello probabilistico ed i relativi codici di calcolo sviluppati per determinare il rischio di decisioni errate nella valutazione di conformità di oggetti multicomponente verranno forniti al JCGM/WG1 come generalizzazione dell'approccio a singola componente descritto nella guida JCGM 106. Lo studio comparativo sulla valutazione dell'incertezza per il BaP tramite LPU e MCM verrà fornito alla rete dei laboratori AQUILA (progetto EMPIR EMUE). Verranno resi disponibili i risultati del confronto chiave CCQM-K74.2018 che supporteranno la preparazione di miscele gassose di biossido di azoto di interesse ambientale. Verranno presentate le CMC relative alla preparazione di miscele gassose primarie binarie o multicomponenti a seguito della validazione delle procedure associate.

Nel campo della **termometria termodinamica per contatto** si inserisce il coordinamento del progetto EURAMET 1459 "ATM Air Temperature Metrology" per la produzione di una linea guida per la taratura di termometri in aria assente sia in EURAMET sia in BIPM CCT. In questo contesto viene coordinato anche un loop del confronto inter-laboratorio di termometri misuratori della temperatura dell'aria tra -40 °C e 60 °C. Lo studio riguarderà il confronto delle attuali procedure di taratura in liquido rispetto alla taratura in aria (camera climatica, flusso). Si valuteranno le influenze di velocità dell'aria, irraggiamento, disposizione e dimensione dei sensori.

In ambito **meteorologia e climatologia**, si contribuirà alla stesura e alla revisione di documenti internazionali, quali la "Guide on Instruments and Methods of Observations della World Meteorological Organization (WMO)", l'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)".

Nell'ambito delle **interazioni radiative tra sorgenti e materiali**, verranno realizzati materiali di riferimento nell'ambito applicazioni IoT per la parte interazione radiativa per la taratura di sensori multiscala visibile – infrarosso. Verrà inoltre condotto un confronto di misura sul coefficiente di luminanza nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM02 SURFACE.

Nel campo della **termometria applicata all'industria**, le attività saranno volte alla disseminazione dell'unità di temperatura termodinamica, con taratura della strumentazione rilevante. Verranno inoltre condotti studi di sistemi per la riferibilità nel processo di testing di componenti elettronici e sensori MEMS e studi di metodi per la validazione metrologica di processi di immagazzinamento di energia termica.

La Divisione garantisce inoltre la rappresentanza, anche con ruoli di chairmanship e segreteria scientifica, in svariate organizzazioni internazionali: IMEKO (Delegato nazionale, chairperson di TC8 e TC9, Scientific Secretary del TC12), Task Team Uncertainties CIMO-WMO (Co-Chairmanship), Commission of Climatology – WMO (Chair-Rapporteur on Climate and reference stations), Expert team Surface CIMO-WMO, Expert team Classification CIMO-WMO, Expert team Metrology CIMO-WMO, Cooperation on International Traceability in analytical Chemistry" - CITAC (chairperson), Eurachem (delegato nazionale e segreteria), IUPAC.

## **Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)**

### ***Chimica Fisica e Nanotecnologia***

Attività nei principali gruppi di lavoro del Comitato Consultivo per la Quantità di Sostanza (CCQM), quali quelli relativi all'analisi organica, alle proteine, all'inorganica, agli acidi nucleici e all'analisi di superficie. Partecipazione a confronti internazionali organizzati da CCQM ed EURAMET per mantenere attive le CMC.

Partecipazione ai confronti prenormativi interlaboratorio, tra cui quelli denominati VAMAS TWA 42 (Measurement of lateral and axial resolution of Raman microscope); VAMAS TWA 42 (Raman shift calibration)

Coordinamento del confronto: VAMAS TWA 42 (Raman spectroscopy for TiO<sub>2</sub> nanoparticles mixtures)

La Divisione svilupperà:

a) **un sistema di misura primario per la conducibilità elettrolitica** per il controllo dell'acqua e delle bevande. L'acqua è il componente principale di molte derrate alimentari, inoltre è utilizzata per il lavaggio e sanificazione di contenitori e strumenti per la conservazione del cibo. Nel controllo di qualità dell'acqua, la conducibilità elettrolitica è un metodo di misura comunemente impiegato per determinarne la purezza ionica complessiva. I valori di conducibilità sono affidabili solo se sono riferibili al Sistema Internazionale delle unità (SI).

b) **un sistema di misura primario basato sull'attivazione neutronica** per l'individuazione di elementi in tracce negli alimenti. L'analisi per attivazione neutronica - NAA è usata per la determinazione di elementi, anche in traccia, in diverse matrici alimentari. Si basa sull'irradiazione con neutroni di nuclei di atomi stabili, che diventano radioattivi, emettendo raggi gamma. L'analisi dell'emissione gamma permette un'analisi qualitativa e quantitativa degli elementi investigati. La tecnica di misura dell'attivazione neutronica è un sistema di misura primario a livello internazionale, previa la partecipazione a confronti internazionali e una valutazione metrologica dell'incertezza di misura.

c) **la riferibilità delle misure di spettroscopia Raman alle unità S.I.** La spettroscopia Raman usa la luce diffusa per identificare e mappare la distribuzione di sostanze chimiche e strutture a livello micro o nanometrico. Utilizzata nei settori farmaceutico, sanitario, biotecnologico, delle nanotecnologie e delle scienze forensi, è un metodo rapido e non distruttivo. E' in corso un'attività normativa, 1) per migliorare l'affidabilità delle misurazioni, stabilendo la riferibilità alla mole e al metro SI e sviluppando campioni di

riferimento e 2) per garantire standard di misurazione nella risoluzione spaziale, della profondità e la confocalità, su richiesta specifica dei produttori di dispositivi.

### **Elektronika Quantistica**

Alla Divisione afferiscono i campioni quantistici delle unità SI delle unità elettriche, e i campioni nazionali di resistenza elettrica, capacità, induttanza, potenza ed energia. Lo sviluppo si concentrerà principalmente sui campioni di tensione, impedenza, potenza elettrica e *power quality*, grandezze elettriche di piccolo valore. Il settore rappresenta l'INRIM in ambito EURAMET TC-EM e CCEM. La struttura di riferibilità è mantenuta in qualità con la revisione delle procedure di taratura e la partecipazione e il piloting di confronti internazionali.

Sono in corso di preparazione per il triennio i confronti internazionali EURAMET.EM-K5, EURAMET.EM-K13 ed EURAMET.EM-K12. Per questi ultimi due è in corso di realizzazione di scala di resistenza con comparatore criogenico.

Gli ambiti di attività specifica sono:

**a) Unità e scale di impedenza elettrica.** Sperimentazione di nuovi ponti di impedenza digitali per la taratura di campioni materiali di capacità e di induttanza a partire dal campione di resistenza elettrica in regime alternato, nell'ambito del progetto 17RPT04 VersiCaL e in preparazione ai confronti EURAMET.EM-K3 (10 mH, 1 kHz) e EURAMET.EM-K4 (10-100 pF, 1592 Hz).

**b) Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala.** a) Sperimentazione di metodi di taratura di amplificatori sincroni (lock-in) per tensioni inferiori a 100 uV, nell'ambito del progetto EURAMET #1466 *Calibration of lock-in amplifiers*. b) La realizzazione (per carica di capacità) della scala delle piccole correnti continue (10 fA - 100 pA) verrà validata da un confronto con un amplificatore a transresistenza (Ultrastable low-noise current amplifier, ULCA). Estensione della dichiarazione CMC per la corrente continua nel range 10 fA - 5 uA.

**c) Metrologia per RF&MW.** Realizzazione del campione di Parametri di Scattering. Partecipazione a ciclo chiave internazionale di confronto in ambito CCEM attualmente in fase di definizione. Verifica ed eventuale aggiornamento delle CMC INRIM.

**d) Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato.** Partecipazione al confronto EURAMET.EM-K5 *Key comparison of 50/60 Hz electric power*.

**e) Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico.** Realizzazione del campione e della scala di resistenza elettrica in regime continuo con incertezza base di parti in  $1e9$ .

**f) Metrologia delle forti correnti.** Sviluppo di capacità di taratura di sensori per forti correnti, con dichiarazione di CMC.

**g) Struttura di riferibilità delle unità elettromagnetiche.** Realizzazione pratica, nel nuovo SI, dell'ampere, ohm, siemens, coulomb, farad, henry, watt, joule. Mantenimento dei campioni nazionali (DM 591/1994) di: intensità di corrente elettrica, potenza elettrica, energia elettrica, tensione elettrica in regime alternato sinusoidale, resistenza elettrica in regime alternato sinusoidale, capacità elettrica, induttanza elettrica. Realizzazione del campione quantistico di resistenza e del campione di rapporti di tensione alternata.

**h) Internazionalizzazione in ambito CCEM e EURAMET TC-EM.** EURAMET: Alternate to the General Assembly (2018-). EURAMET TC-EM: Chairmanship (-2019); Working Group on Strategic Planning (2019-2022). CCEM: Delegate (2017-), Working group on Regional Metrology Organizations (2019-2022). CPEM Executive Committee, member-at-large (2019-2022).

**i) Realizzazione pratica del volt tramite effetto Josephson quantistico.** Realizzazione del campione nel triennio

### **Fotometria e Radiometria**

La 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 fanno parte dei compiti NMI della divisione.

Tra i confronti interlaboratorio previsti nel triennio, la taratura in intensità luminosa di lampade LED con PQED (EMPIR PhotoLED), oltre alla **Riferibilità di misure a singolo fotone** - Pilot study on the detection efficiency of single-photon detectors – Si-SPAD (850nm) Le CMC vengono supportate dai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR; in particolare nel prossimo triennio sono previsti i confronti di misura per i radiometri UV-A, e per i filtri neutri. Per quanto riguarda il regime di conteggio è prevista la partecipazione a confronti di misura pilota (CCPR WG SP) dell'efficienza di fotorivelazione di rivelatori singolo fotone (SPAD) nel visibile (850 nm, free space) e nel vicino infrarosso (1550 nm, fibre coupled); con

l'obiettivo di estendere le capacità di misura, verranno sviluppate appropriate catene di riferibilità e protocolli di misura, a partire dal radiometro criogenico (100  $\mu$ W) a scendere (-100 dB) al regime di singolo fotone. Nell'ambito del progetto EMPIR PhotoLED è in corso un confronto interlaboratorio per validare l'uso del PQED per la misura diretta dell'intensità luminosa di lampade campione a LED.

### **Ottica Quantistica**

L'attività NMI in questo settore si focalizza sulla definizione di standards per le emergenti tecnologie quantistiche in collaborazione con ETSI, ed eventualmente CEN CENELEC e ISO. Già nel 2019 si avrà un significativo contributo alla pubblicazione di documenti di standardizzazione per la distribuzione quantistica di chiavi crittografiche nell'ambito del ETSI Industry Specification Group sulla QKD, in particolare verranno pubblicati i documenti: ETSI GS QKD 013 - Quantum Key Distribution (QKD) Characterisation of Optical Output of QKD transmitter modules [INRIM è il "Rapporteur", autore principale]

Proseguirà la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di standard per la crittografia quantistica.

Si contribuirà all'attività di CEN CENELEC nell'ambito dell'identificazione di tecnologie quantistiche che necessitino di attività di standardizzazione.

### **Tempo e Frequenza**

Le attività NMI della divisione saranno articolate in:

- a) Realizzazione di una scala di tempo media in tempo reale. Sviluppo di prototipo Hardware, e studio di algoritmi software.
- b) Test nuovi modem per TWSTFT
- c) Contributi al tempo atomico internazionale con il campione a Itterbio
- d) Confronti tra campioni di frequenza ottici europei attraverso la fibra ottica e tecniche radioastronomiche

Lo **Sviluppo di algoritmi per sistemi di timing robusti e ottimizzati** si occuperà d'incrementare la stabilità e accuratezza della scala di tempo UTC(IT), già tra le migliori al mondo, rispetto a UTC con l'inclusione in medie di insieme degli orologi commerciali (maser all'idrogeno) e di laboratorio (primario a fontana di Cesio, orologio ottico all'itterbio) attraverso algoritmi di predizione e confronto tra gli orologi di tipo ottimale. Inoltre, lo sviluppo hardware di sistemi di switch permette la prevenzione di failure degli orologi in dotazione.

Il **Trasferimento di tempo più accurato** sarà al centro dello sviluppo triennale del ruolo NMI, con lo sviluppo di nuove tecnologie, in particolari digitali, sia per satellite che fibra ottica. Tra le tecniche digitali, nel triennio sviluppo dei modem SDR, sia in ricezione che trasmissione; realizzazione della distribuzione PTP ad alta accuratezza ("White Rabbit" su tutto il link ottico di frequenza, e suo miglioramento con la Coordinazione del progetto 17IND14 WRITE.)

**L'affidabilità di campioni ottici e integrazione nella generazione della scala di tempo.** costituirà un'importante sviluppo. Il campione a Itterbio sarà dotato di tecnologia per l'operatività estesa (> un mese) con servo-sistemi "unmanned" e di controllo remoto, in modo da poter gettare le basi per una scala di tempo completamente ottica.

Nel triennio sarà infine dato un **regolare contributo alla scala di tempo atomico internazionale** con le realizzazioni del secondo SI tramite fontana atomico e orologio ottico all'itterbio

## **2.4 - KNOWLEDGE TRANSFER**

### **Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)**

#### **Scienza e Tecnologia alla Nanoscala**

Nel triennio si prevede di organizzare la prima edizione della scuola per giovani ricercatori " Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standards". Nell'ambito della consueta attività di partecipazione simposi nazionali e internazionali il personale collaborerà all'organizzazione della conferenza

NanoInnovation 2019, (Roma, Italia). Si prevede infine di sviluppare e divulgare on-line moduli e-learning per illustrare la micro e nanofabbricazione di dispositivi.

E' prevista un'attività per il trasferimento della proprietà intellettuale relativa al brevetto internazionale sul campione di lunghezza alla nanoscala ad alcuni stakeholder dei progetti EMPIR nell'ambito della collaborazione con IMEC (Leuven, Belgio) e PTB (Berlino, Germania), Verranno inoltre sviluppate tip per Atom Probe Tomography e nanoFTIR attraverso la messa a punto della preparativa per la realizzazione di punte per tecniche di nanoFTIR e APT (Atom Probe Tomography).

### ***Campi e sistemi elettromagnetici***

Nel triennio l'attività sarà finalizzata ad attività di trasferimento tecnologico e di formazione in relazione a risultati ottenuti e conoscenze maturate nell'ambito dei temi di ricerca in cui il settore è attivo, mediante presentazione di brevetti, partecipazione ad organismi tecnici, formazione, organizzazione di workshop e di eventi di divulgazione.

Si prevede di mettere a punto una richiesta di brevetto inerente la misura delle grandezze elettriche nei sistemi di ricarica induttiva. La richiesta si focalizzerà nell'ambito dei nuovi sistemi, dispositivi e algoritmi messi a punto nell'ambito delle attività del progetto MICEV.

Il Settore contribuirà alle attività di organismi tecnici e normativi nazionali e internazionali con riferimento all'esposizione ai campi elettromagnetici (CEI SC106) e alle misure sui sistemi elettrici ed elettromagnetici (IEC WG55, CEI TC38 e TC9.).

E' previsto lo svolgimento di tesi di dottorato in metrologia sull'uso di materiali magnetostrittivi per l'energy harvesting (EH) sulla metrologia per i sistemi elettrici ed elettromagnetici in ambito ferroviario e sulla caratterizzazione metrologica di sensori con uscita digitale. Verrà quindi organizzato un corso di formazione sulle misure di potenza ed efficienza e la dosimetria elettromagnetica nei sistemi di ricarica wireless per veicoli elettrici. A conclusione dei due progetti di ricerca (MICEV and MyRailS, nell'estate 2020) coordinati dall'INRIM verranno organizzati due eventi di divulgazione dei risultati ottenuti rivolti al modo dell'industriale, agli stakeholder e agli enti normativi.

### ***Acustica in Aria e Ultrasuoni***

Nell'ambito dell'attività di acustica in aria si prevede di organizzare confronti inter-laboratorio riguardanti le grandezze acustiche.

Le attività inerenti il tema degli ultrasuoni saranno principalmente indirizzate alla realizzazione degli obiettivi del progetto EURAMET EMPIR 18HLT06-RaChy. Tra le finalità principali del progetto si evidenzia lo sviluppo di tecniche tali da consentire la predizione della deposizione di energia e dei profili di temperatura all'interno di colture biologiche e tessuti durante i cicli d'ipertermia mediati da ultrasuoni. Il profilo della temperatura verrà misurato durante l'esposizione, per garantire un trattamento sicuro ed efficace. L'obiettivo primario è quindi migliorare l'efficacia, la sicurezza e la gamma di applicabilità dei trattamenti d'ipertermia basati su campi US fornendo metodi validati per la caratterizzazione del campo ultrasonico oltre che il monitoraggio dell'esposizione durante la terapia. A questo scopo sono in fase di studio due approcci principali: la termometria MR, che fondamentalmente sfrutta le sequenze di eco-gradiente e la termometria US, utilizzando le tecniche B-mode o elastografia.

### ***Scienze e tecnologie biomediche***

Nell'ambito dell'attività di formazione, didattica universitaria e organizzazione di corsi verranno formati studenti di III, II e I livello. Proseguirà il corso di III livello "Mathematical-physical aspects of electromagnetism" ed è programmato un corso nazionale sulla dosimetria MRI. Verrà organizzato l' "International Workshop on MR-based Electrical Properties Mapping". Infine, il workshop "Advanced Analytical Technologies for Life Sciences" verrà organizzato nell'ambito del meeting autunnale CCQM.

Le attività saranno rivolte allo sviluppo e alla caratterizzazione di tecniche terapeutiche e diagnostiche e al potenziamento delle collaborazioni con stakeholder negli ambiti delle reti EMN Mathmet e TraceLabMed e dei progetti EMPIR.

### ***Magnetismo, Materiali e Spintronica***

Nel triennio si proseguirà con l'attività di addestramento di giovani ricercatori, insegnamento diretto alle scuole e divulgazione al grande pubblico. In particolare, si prevede la preparazione di piccoli esperimenti "portatili" per la divulgazione delle scuole. In tale ambito, verranno rafforzare le collaborazioni con gruppi leader in questo ambito tramite le partecipazioni al consorzio "Spintronic Factory" ed alla proposta "Nano-Engineering Flagship". Si prevede di partecipare all'attività di divulgazione del magnetismo presso la comunità scientifica e industriale con la collaborazione continua con l'Associazione Italiana di Magnetismo. In particolare, oltre all'organizzazione di congressi e scuole, è prevista la partecipazione ai gruppi di lavoro "Education & Outreach" e "AIMag Colloquia" dell'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione. Proseguirà il Corso di terzo livello "Magnetism, magnetic materials and measurements"

per dottorandi del Politecnico di Torino e Corso di terzo livello "Python in the lab" per dottorandi del Politecnico di Torino (2 edizioni). E' prevista la partecipazione al Consorzio Interuniversitario per la Cristallografia Diffrattometrica (CRISDI) dell'Università di Torino. Nell'ambito dell'attività di formazione, didattica universitaria e organizzazione di corsi verranno formati studenti di III, II e I livello. Si prevede inoltre l'accoglienza di studenti in progetti di alternanza scuola-lavoro previsti dalla Legge 107/2015.

## **Metrologia applicata e ingegneria (AE)**

La Divisione sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale mediante molteplici attività. Esegue attività di peer review presso altri NMI (tra cui IPQ-Portogallo, CEM-Spagna, INMETRO-Brasile, CENAM-Messico, UME-Turchia) e fornisce supporto all'Ente Italiano di Accreditamento (ACCREDIA) e a enti di accreditamento stranieri (tra cui UKAS.Regno Unito, COFRAC-Francia, TURKAK-Turchia, ISRAC- Israele, EIAC-Emirati Arabi) con attività tecniche di ispezione, anche organizzando e supervisionando confronti inter-laboratorio principalmente fra i laboratori accreditati. Partecipa all'attività di normazione nazionale (UNI/CT 002/SC 02/GL 02, presidenza UNI/CT047 TPD e GPS; coordinamento UNI/CT047/GL1, UNI/CT047/GL4, UNI/CT 016/GL 69 "Applicazioni dei metodi statistici") e internazionale (ISO TC 164, ISO/TC213 WG16, WG10, AG1, ISO/TC 69/SC 6/ WG 7 "Statistical methods to support measurement uncertainty evaluation"; coordinamento ISO/TC213/WG4), anche mediante la partecipazione a progetti EMPIR normativi (sviluppo di template e esempi di valutazione dell'incertezza e della conformità di prodotti da fornire a comitati tecnici normativi di competenza nell'ambito del progetto EMPIR 17NRM05 EMUE). Partecipa inoltre a commissioni tecniche di settore (ACAE).

Nell'ambito delle interazioni e supporto alle industrie, organizza lo svolgimento di corsi di formazione per stakeholder industriali, anche nell'ambito di progetti EMPIR dedicati (), elabora contratti industriali e di cessione di know-how (es. realizzazione sistemi di misura multicomponenti, realizzazione di durometri campione,

Si rende disponibile allo svolgimento di tirocini a vari livelli, anche nei confronti di personale proveniente da paesi emergenti.

La Divisione organizza conferenze internazionali nei settori di competenza. Promuove lo svolgimento di Dottorati di Ricerca presso le proprie strutture in vista di future opportunità di reclutamento; fornisce personale docente per corsi di primo e secondo livello attivi presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino, per corsi specialistici, per corsi di dottorato e per corsi di metrologia agli insegnanti. Promuove inoltre la cultura metrologica attraverso conferenze di divulgazione sul nuovo SI e partecipazione attiva alle settimane della scienza, con visite dei laboratori da parte delle scolaresche.

## **Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)**

Un livello diffuso di **Formazione in metrologia** è garantito alla Divisione attraverso Secondment di ricercatori internazionali, il Dottorato in Metrologia, Politecnico di Torino, partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato, il Tutoring di studenti.

### ***Chimica Fisica e Nanotecnologia***

Attraverso l'Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPResA), si garantirà un sostegno alle aziende per le misure necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per l'imballaggio alimentare, nel rispetto delle normative internazionali, rispondendo sia alle richieste di verifica da parte delle autorità di controllo sia alla tutela del consumatore.

Il nucleo della collaborazione di Impresa è costituito dall'associazione temporanea di scopo (ATS), con IZSTO, CREA, ISPA, IPSP.

INRIM come ente capofila del progetto IMPResA metterà a disposizione spazi e impianti per realizzare l'infrastruttura, dando il supporto metrologico. Coordinerà i partecipanti sia dal punto di vista scientifico/tecnologico che finanziario, garantendo la verifica dei risultati ottenuti. La prevenzione dei rischi connessi alla creazione e al mantenimento dell'infrastruttura sarà gestita da personale tecnico e ricercatore.

### ***Elettronica Quantistica***

Diversificato è il supporto a normazione e regolamentazione: progetto EMPIR 16NRM01 GRACE. Capacity Building: progetti 17RPT04 VersiCaL (impedenza) e 15RPT04 TracePQM (potenza, power quality). Certificazione tecnica, attività per accreditamento LAT. Formazione universitaria. Diffusione della revisione dell'SI nel paese.

L'articolazione delle attività di KT si basa su a) **Supporto a normazione e regolamentazione**. Progetto 16NRM01 GRACE (-2020): submission di Draft Technical Specifications per la caratterizzazione elettrica del grafene al Technical Committee IEC TC/113.

b) **Capacity Building**. a) Progetto 17RPT04 VersICaL (2018-2021): virtual lab per la metrologia dell'impedenza e training di NMI europei. b) Progetto 15RPT04 TracePQM: training NMI sui software aperti per la digitalizzazione simultanea e la ricostruzione di profili d'onda arbitrari di tensione e corrente finalizzati alla riferibilità delle grandezze elettriche in alternata e la caratterizzazione di dispositivi e sorgenti AC.

c) **Training**. Progetto 15RPOT TracePQM (2017-2019): Training di Istituti Primari Metrologici sull'utilizzo di applicativi software aperti, sviluppati per la digitalizzazione simultanea e la ricostruzione di profili d'onda arbitrari di tensione e corrente, per studi di riferibilità delle grandezze elettriche in alternata e la caratterizzazione di dispositivi e sorgenti AC.

d) **Certificazione tecnica e accreditamento**. Emissione di ca. 120 certificati/anno verso centri di taratura, 50 certificati/anno verso l'INRIM, certificati per audit interni ed esterni. Attività per ILC nell'ambito impedenza e potenza ed energia elettrica. Expertise tecnica per ACCREDIA: ispettori tecnici ed esperti per le grandezze elettriche (impedenza, potenza), membership Comitato Settoriale *Accreditamento laboratori di taratura*.

### **Tempo e Frequenza**

Nel triennio l'articolazione delle attività KT della divisione in questo settore è la seguente:

- a) Completamento attività KT verso Leonardo per la realizzazione di orologio POP qualificato spazio, quale candidato orologio Galileo seconda generazione
- b) Supporto al sistema Galileo ed EGNOS per validazione aspetti di timing.
- c) Contributo definizione algoritmi per seconda generazione Galileo e TSP.
- d) Consulenza a METAS per la realizzazione di link coerente in Svizzera
- e) Realizzazione dell'Infrastruttura di ricerca PiqueT
- f) Riferibilità a UTC(IT) del segmento terra per il timing di Galileo al Fucino

In particolare, si attendono risultati significativi attraverso le seguenti attività:

- 1) **Ingegnerizzazione dell'orologio compatto POP**, in collaborazione con Leonardo, con relativa qualificazione spazio, finalizzata sia alle applicazioni industriali che soprattutto quale candidato orologio Galileo seconda generazione.
- 2) **Validazione dei sistemi di timing** nei sistemi Galileo ed EGNOS con supporto ad aziende come Telespazio e Thales Alenia Space. Definizione algoritmi per seconda generazione per Galileo e il Timing Service Provider
- 3) **Consulenza a METAS** per la realizzazione di link coerente in Svizzera di 300 km.
- 4) **Infrastruttura di ricerca PiqueT**. Il laboratorio "Piemonte Quantum Enhanced Technology sarà un'infrastruttura di ricerca con grande attenzione per il KT verso l'industria. Coordinato da INRIM, in collaborazione con Politecnico e Università di Torino, crea un laboratorio in camera pulita allo stato dell'arte di circa 500 m<sup>2</sup> in cui sono conferiti strumenti per la micro/nanofabbricazione e la comunicazione e sensoristica quantistica. Nel triennio il laboratorio sarà messo a regime, e cominceranno le linee di ricerca innovative per la realizzazione di dispositivi quantum (di ottica quantistica, orologi on chip, QKD in fibra, MEMS, materiali innovativi)
- 5) **Riferibilità a UTC(IT)** per l'industria. Sarà esteso l'erogazione del servizio di time stamping su fibra usato da Intesa San Paolo; completato e reso permanente il link ottico di T/F per Leonardo, messo in operazione il link ottico di tempo ultra-accurato (sub-ns) per Telespazio e ASI e il centro di timing di Galileo al Fucino.

### 3 - QUADRO DELLE COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA E DELLE PARTECIPAZIONI

Nel triennio 2019-2021 proseguiranno le collaborazioni con organismi quali **CIPM**, **BIPM**, **EURAMET** ed **ESA**. L'INRIM porterà avanti anche nuovi progetti in ambito Horizon 2020.

Dal 25 al 29 novembre 2019 si terrà a Pechino il *China-Italy Innovation Forum* (organizzato per l'Italia da MAECI e MIUR, per la Cina dal MOST, con la collaborazione dell'Accademia delle scienze e di altri enti di ricerca), durante il quale sono previsti seminari tematici, workshop, incontri *one-to-one* e visite nel distretto di tecnologia avanzata a Jinan. L'inaugurazione, che si terrà il 26 novembre a Pechino, avverrà alla presenza dei ministri dei rispettivi Paesi e in quella sede sarà firmato un Memorandum of Understanding. Poiché l'INRIM prevede la stipula di un Memorandum of Understanding con il National Institute Metrology cinese, tra gli eventi del Forum è stata inserita anche la firma del documento tra l'Istituto e il NIM, che avverrà nel corso della cerimonia ufficiale del 26 novembre.

Tra le nuove collaborazioni in ambito EURAMET sono da segnalare 15 progetti che hanno partecipato alla quinta *call* EMPIR lanciata nel 2018 e che verranno avviati a partire dal 2019; in totale, questi progetti hanno ottenuto un finanziamento EU di circa 3.000 k€.

Inoltre l'INRIM avvierà nel 2019 altri importanti progetti.

In ambito Horizon 2020 (CE):

- il progetto PATHOS (Photonic and nAnomeTric High-sensitivity biO-Sensing), finanziato dalla Comunità Europea (506 k€) nell'ambito dei progetti Horizon 2020;
- il progetto QUARTET (Quantum readout techniques and technologies), finanziato dalla CE con 325 k€;
- il progetto BeMAGIC (Magnetolectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetolectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies), che ha ottenuto un finanziamento CE di 261 k€;
- il progetto MagnEFi (Magnetism and the effects of Electric Field), che ha ottenuto dalla CE un finanziamento pari a 261 k€.

In ambito internazionale, si segnala invece il progetto FQXi (Agent-based irreversibility in quantum theory), finanziato dalla Silicon Valley Community Foundation (California, USA) con un finanziamento totale di 18 k€.

E' invece promosso dal MIUR il progetto PRIN 2017 SustMetMat (Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control) che ha ricevuto un finanziamento di 76 k€.

In ambito industriale sono invece in partenza i seguenti progetti:

- MicroanalysisInspect (Microanalisi FEI Inspect F, mediante la spettrometria a dispersione di energia (EDS), commissionato da ITT ITALIA S.R.L. e finanziato per un totale di 25 k€;
- UME-TUBITAK-CELLS (Design e realizzazione di celle elettrolitiche), commissionato dal TUBITAK National Metrology Institute (UME) con un finanziamento pari a 23 k€;
- LIG-A (LIG-A: Laser Interferometry Gauge and Accelerometer), commissionato dall'ESA (European Space Agency) in collaborazione con l'Università di Pisa, che ha ottenuto un finanziamento di 80 k€;
- Studio relativo all'esposizione umana a campi elettromagnetici durante i lavori sotto tensione, commissionato dal CESI (Centro elettrotecnico sperimentale italiano) con un finanziamento di 20 k€;
- CERT.LAB.MOB. (Certificazione laboratorio mobile), commissionato da AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A., per un introito di 36 k€;
- SMINTEBI-CSEM (R&D COLLABORATION for the validation of the SMINTEBI method developed by CSEM for the indirect estimation of the radiator heat consumption) è stato invece commissionato dal CSEM - CENTRE SUISSE D'ELECTRONIQUE ET DE MICROTECHNIQUE S.A. e finanziato con 30 k€;

- IAM2 (Attività validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori) è stato infine commissionato da IAM S.R.L. con un ricavato per l'INRIM di 216 k€.

Per quanto concerne le partecipazioni a società consorziali, l'INRIM continuerà a portare avanti la propria adesione ai seguenti consorzi:

- **Cineca**: un Consorzio Interuniversitario formato da 67 università italiane, 9 Enti di Ricerca Nazionali e il MIUR);
- **SOC** - Space Optical Clocks: consorzio a carattere scientifico per studiare la fattibilità di una missione per l'invio di un orologio ottico sulla ISS;
- **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".

Verranno riconfermate nel triennio anche le adesioni ai seguenti networks europei:

- **Eurachem**: network europeo di enti nato con l'obiettivo di stabilire un sistema per la tracciabilità internazionale delle misure chimiche;
- **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.

Continuità sarà garantita anche alle partecipazioni ai seguenti Poli della Regione Piemonte:

- **BIOPMED** - Polo di Innovazione "Biotecnologie e biomedicale": Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante in ambito tecnologico-applicativo biotecnologie e biomedicale;
- **Clever-Clean**: associazione relativa al Polo di Innovazione della Regione Piemonte "Clever", operante nell'ambito tecnologico-applicativo della protezione ambientale;
- **ICT** - Polo di Innovazione Information & Communication Technology: Polo di Innovazione della Regione Piemonte gestito dalla Fondazione Torino Wireless, costituito allo scopo di favorire l'innovazione tecnologica e la sinergia di imprese, enti di ricerca e politiche di innovazione;
- **MESAP** - Polo di Innovazione "Meccatronica e Sistemi Avanzati di Produzione": Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante in ambito tecnologico-applicativo, allo scopo di supportare imprese ed enti di ricerca e di favorire il trasferimento tecnologico.

Saranno inoltre rinnovate le associazioni ai **Cluster "Fabbrica intelligente"** ed **"Energia"**: entrambi sono 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; importante è la loro funzione di collegamento e di coordinamento tra il mondo della ricerca e quello delle imprese.

Nel 2019 saranno stipulate nove nuove convenzioni di collaborazione:

- collaborative Research Agreement, finalizzato all'effettuazione di un esperimento su trasferimenti di tempo via satellite geostazionario tramite l'utilizzo del Software Ranging System (SRS) modem sviluppato dal NICT, stipulato con il National Institute of Information and Communications Technology (NICT) di Tokyo;
- convenzione di collaborazione scientifica con l'Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro" (UPO) di Vercelli nei settori di attività delle nanoscienze, della chimica dei polimeri e della metrologia;
- convenzione finalizzata all'attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" per il 35° ciclo, stipulata con l'Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica;
- convenzione di collaborazione, per l'esecuzione di prove su apparecchiature elettriche di bassa tensione industriali, finalizzate alla certificazione, con l'Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) di Bergamo;

- accordo per regolamentare le attività che il Laboratorio Alte Tensioni & Forti Correnti (LATFC) dell'INRIM svolgerà su incarico dell'ACAE, stipulato con l'Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) di Bergamo;
- addendum alla convenzione quadro di collaborazione scientifica del 2 ottobre 2014 tra l'INRIM e il Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) di Sesto Fiorentino, in cui sono disciplinati gli obblighi in materia di sicurezza sul lavoro e la tutela della proprietà intellettuale;
- convenzione per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga, stipulata con il Consorzio Top-IX di Torino;
- convenzione per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga, stipulata con l'Università degli Studi di Brescia (UniBS).
- convenzione per l'acquisto da parte dei dipendenti INRIM di abbonamenti per il trasporto pubblico, stipulata con il Gruppo Torinese Trasporti (GTT);

Il triennio 2019-2021 vedrà anche la continuazione delle collaborazioni con i seguenti organismi:

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

Nell'ambito delle collaborazioni con le **istituzioni accademiche**, l'INRIM prosegue nell'organizzazione di corsi di II e III livello nell'ambito delle proprie competenze, ed in particolare promuove un corso di dottorato di Metrologia.

## 4 - INFRASTRUTTURE DI RICERCA INTERNAZIONALI

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

La European Association of National Metrology Institutes (EURAMET) 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 localizzazione di una sede scientificamente rilevante in Italia.

EURAMET gestisce il programma EMPIR per 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).

L'Italia è il quarto partner con un impegno economico del 7,6%, ma il terzo per produzione scientifica; ricercatori INRIM sono ai primi posti per quantità e qualità delle pubblicazioni indicizzate prodotte dei programmi di ricerca EURAMET. INRIM rappresenta l'Italia nell'assemblea dei soci, nel consiglio di amministrazione e nel comitato di gestione dei programmi di ricerca. I costi di gestione dei programmi di ricerca EMRP (2009 – 2017) e EMPIR (2014 – 2024), sono definiti nella misura del 5% del costo totale dei programmi (400 M€ e 600 M€, rispettivamente). Essi sono interamente a carico dei membri di EURAMET.

La quota associativa a EURAMET (in carico a INRIM) è 20 k€/anno

Il contributo italiano per la gestione dei programmi di ricerca congiunti (in carico a INRIM) è di 2.4 M€ per EMPIR (2014-2024), per larga parte in kind.

Il valore complessivo di EMPIR è 600 M€: 300 M€ da risorse nazionali e 300 M€ dall'unione europea; il 30% del cofinanziamento comunitario, 90 M€, finanzierà la partecipazione non NMI (industrie, università e istituti di ricerca). Il valore atteso della partecipazione italiana, 24 M€, è 7.6%.

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

EMPIR è articolato in bandi annuali raggruppati in sei moduli:

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

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

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

call	2014	2015	2016	2017	2018
valore partecipazione NMI	1.5 M€	1.6 M€	1.8 M€	2.6 M€	3.1 M€
percentuale partecipazione NMI	8.3%	5.6%	5.7%	8.0%	8.8%
valore partecipazione non NMI	0.6 M€	0.45 M€	1.4 M€	1.6 M€	1.0 M€
percentuale partecipazione non NMI	8.5%	4%	8.8%	10.5%	8%
Valore partecipazione nazionale	2.1 M€	2 M€	3.2M€	4.2 M€	4.1 M€
Percentuale Partecipazione nazionale	<b>8.4%</b>	<b>5%</b>	<b>6.7%</b>	<b>8.8%</b>	<b>8.6%</b>

A conclusione del programma EMPIR, nell'ambito del nuovo programma quadro della ricerca della UE Horizon Europe, si prevede di avviare un nuovo Programma dedicato alla metrologia denominato EMP, finalizzato sempre più ad una maggiore integrazione della metrologia in Europa. Il nuovo programma dovrebbe avere una dimensione di 700 M€, e partire nel 2021.

La tabella seguente riporta in dettaglio i 15 progetti EMPIR, che hanno partecipato alla call 2018, che l'INRIM avvierà nel 2019.

**Tabella 12 –Progetti EMPIR in avvio nel 2019**

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento per INRIM (k€)
HEALTH	<b>18HLT05 QUIERO</b>	<b>Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers</b>	<b>550</b>
	18HLT06 RaChy	Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept	400
SI BROADER SCOPE	18SIB01 GeoMetre	Large-scale dimensional measurements for geodesy	200
	18SIB02 Real-K	Realising the redefined kelvin	230
	18SIB04 QuantumPascal	Towards quantum-based realisations of the pascal	270
	18SIB05 ROCIT	Robust Optical Clocks for International Timescales	250
	18SIB06 TiFOON	Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks	300
	18SIB07 GIQS	Graphene impedance quantum standard	250
	18SIB08 ComTraForce	Comprehensive traceability for force metrology services	210
	18SIB10 chipS-CALe	Self-calibrating photodiodes for the radiometric linkage to fundamental constants	150
NORMATIVE	<b>18NRM03 INCIPIT</b>	<b>Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation</b>	<b>60</b>

NETWORKS	18NET02 TraceLabMed	Support for a European Metrology Network on traceability in laboratory medicine	40
	18NET03 SEG-Net	Support for a European Metrology Network on smart electricity grids	40
	18NET05 MATHMET	Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics	20
RESEARCH POTENTIAL	18RPT01 ProbeTrace	Traceability for contact probe and stylus instrument measurements	15

#### 4.2 – EURAMET - EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)

L'INRIM partecipa alla messa a punto e all'avvio delle attività di kick-off relative alla costituzione di cinque 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 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 in cui è coinvolto l'INRIM sono le seguenti:

EMN Quantum Technologies, coordinata dall'INRIM, ambisce a sviluppare la metrologia necessaria per favorire lo sviluppo delle tecnologie quantistiche (EMN-Q) e dei dispositivi quantistici. Le tecnologie quantistiche offrono opportunità e sfide 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 europea, contribuendo a mantenere la competitività europea nel campo delle tecnologie quantistiche. L'EMN-Q concentrerà i propri sforzi su attività coerenti con gli obiettivi della Quantum Flagship europea e con le necessità industriali che si paleseranno, fornendo un efficace contributo allo sviluppo delle tecnologie quantistiche europee.

EMN on Smart Electricity Grid, coordinata da VSL, 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. L'INRIM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

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

EMN for Mathematics and Statistics, coordinata da PTB, si propone 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 rete origina dal Centro Europeo per la Matematica e la Statistica in Metrologia (MATHMET) costituito nel 2014, di cui INRIM è

membro. L'INRIM è inoltre coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

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 18NET02 TraceLabMed, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN.

### **4.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE**

L'Europa è impegnata nella costruzione di un sistema di navigazione satellitare per il quale sono necessarie competenze di metrologia del tempo su algoritmi per scale di tempo, orologi atomici e tecniche di sincronizzazione. L'infrastruttura Galileo dell'INRIM promuove le capacità di ricerca e formazione sia per lo sviluppo della navigazione europea, sia per lo sviluppo di applicazioni industriali e nuove tecnologie. Rappresenta la base per una rete di laboratori per l'applicazione della metrologia del tempo alle missioni spaziali europee valorizzando le competenze già presenti sul territorio italiano. L'infrastruttura si basa sulle competenze e le strutture costruite in INRIM a supporto del timing del sistema Galileo e su contratti ESA e della comunità europea. L'infrastruttura costituisce:

1. 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;
2. una struttura di riferimento metrologico per la validazione e monitoring in tempo reale del segnale di Galileo, degli orologi di bordo e di terra, del Galileo System Time, e della disseminazione del tempo universale coordinato del segnale Galileo;
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.

L'attività si articola in programmi.

#### **1) Definizione, operazione e miglioramento del sistema di timing di Galileo**

- a. Validazione e stima in tempo quasi reale sia degli orologi di bordo e della scala di tempo di Galileo, e monitoring della disseminazione di UTC e del GPS To Galileo Time Offset fatta da Galileo (contratto FOC Exploitation: supporto al SETA team di Thales Alenia Space Italia);
- b. Monitoring del timing di EGNOS, il sistema di completamento europeo al GPS (Contratto EGNOS monitoring con CNES, progetto H2020 GSA – European GNSS Agency)
- c. Coordinamento scientifico del Galileo Time Service Provider, infrastruttura dedicata alla sincronizzazione della scala Galileo con UTC con la collaborazione degli istituti metrologici europei coordinati da INRIM. INRIM ha coordinato lo sviluppo dell'infrastruttura avvenuto nel 2017, e da Dicembre 2017 il TSP è operativo presso i centri di controllo di Galileo. Da Gennaio 2018 INRIM partecipa inoltre al Galileo Time Service Provider inviando quotidianamente e su base oraria prodotti di riferimento basati sulla scala di tempo nazionale UTC(IT) utilizzati per lo steering del Galileo System Time e per la validazione delle performance di timing di Galileo
- d. Supporto alla validazione degli aspetti di timing di Galileo come contributo degli Stati Membri dell'UE con invio regolare 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 UTC(IT) (Contratto GRC-MS con CNES, progetto GSA – European GNSS Agency)
- e. Upgrade ed Operazione della Galileo Experimental Sensor Station operante presso INRIM dal 2006 e che contribuisce al sistema Galileo mediante invio regolare di prodotti in tempo reale (Contratto TGVF-X con GMV, progetto ESA – European Space Agency)

#### **2) Studio e sperimentazione dei servizi di timing di Galileo**

- a. Dimostrazione di servizi di timing di Galileo che aggiungano caratteristiche di accuratezza, disponibilità e certificazione al tempo trasmesso da Galileo con nuove possibilità di time transfer (contratto H2020 DEMETRA, 16 partners di 8 paesi coordinati da INRIM). Dopo la sperimentazione del progetto DEMETRA restano attivi il servizio di disseminazione in fibra ottica e di monitoring di scale di tempo con il Precise Point Positioning. E' inoltre prevista la

sperimentazione della disseminazione di tempo su satellite Geostazionario in collaborazione con ANTARES, a partire da fine 2019.

- b. INRIM partecipa inoltre al Galileo Reference Center creato dai Member States, dal 2018 al 2021, per la validazione dei servizi di timing di Galileo a livello utente (contratto GRC –MS)

#### **4.4 - LINK ITALIANO TEMPO E FREQUENZA (LIFT)**

L'infrastruttura di Tempo e Frequenza su Fibra (LIFT) distribuisce segnali di tempo e frequenza campione usando fibre ottiche commerciali con la migliore stabilità e accuratezza oggi possibili. 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 permette di realizzare sensoristica innovativa distribuita sul territorio (per es. per la sismologia) e applicare tecnologie quantistiche su fibra ottica in campo reale (per es. la QKD).

Gli obiettivi di LIFT sono: i) distribuire stabilmente i segnali campione INRIM in fibra a una decina di centri italiani e transfrontalieri per l'accesso alle reti europee; ii) creare un sistema che dalla dorsale irraggi in siti secondari, con la finalità di costruire una piattaforma tempo/frequenza di qualità superiore in Italia; iii) estendere e perfezionare la ricerca di eccellenza sulla sperimentazione di metrologia e crittografia quantistica in campo reale e sulle possibilità di una rete sismologica innovativa che utilizza la distribuzione di un laser ultrastabile e la tecnica interferometrica propria di LIFT; iv) obiettivo di metrologia primaria è nel prossimo triennio la costituzione della prima rete 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.

I segnali di riferimento per il tempo e la frequenza sono generati dall'INRIM mediante un insieme di orologi atomici, mantenuti costantemente allo stato dell'arte. Questi segnali sono attualmente distribuiti con varie tecniche (radiotelevisiva, internet, satelliti). L'uso di fibre ottiche commerciali permette la distribuzione senza degrado di precisione, consentendo all'utente remoto di ricevere segnali di qualità pari a quella presente nei laboratori INRIM. Questo si ottiene generando una radiazione laser a frequenza ultrastabile, idonea al trasporto su fibra ottica commerciale e riferita agli orologi dell'INRIM. L'infrastruttura in fibra si compone della fibra e degli apparati di amplificazione e rigenerazione. L'architettura deve essere completamente ottica e bidirezionale per compensare il rumore di fase introdotto dalla fibra stessa, che degraderebbe l'accuratezza del segnale. LIFT prevede sia l'uso di fibre dedicate sia la distribuzione sulla medesima fibra di traffico dati e segnali metrologici (attraverso multiplexing di frequenza).

Gli utenti di LIFT sono: gli osservatori radioastronomici con le antenne di Bologna, Noto e Cagliari; la geodesia spaziale di Matera (ASI); il centro di controllo di terra degli orologi del sistema satellitare Galileo al Fucino; aziende di aerospaziali di eccellenza in Lombardia e Lazio; sedi finanziarie (Torino e Milano); osservatori astronomici (Val d'Aosta); i centri di eccellenza scientifica (LENS, Università, CNR-INO – Firenze; CNR-IFN – Milano; CNR-INO – Napoli); i centri di sismologia e sensoristica in ambiente marino, a seguito della sperimentazione con successo di un link tra Sicilia e Malta che ha evidenziato come le tecniche di LIFT siano utilizzabili per ottenere monitor sismologico sottomarino laddove i dati sono estremamente carenti.

La distribuzione dei campioni atomici coesisterà con la distribuzione di tecnologie quantistiche per la \*sensoristica e la crittografia, utilizzando reti ibride.

LIFT guarda all'Europa, per creare il ramo meridionale di una rete di link ottici che hanno i nodi principali nei maggiori Istituti Metrologici europei. Il raccordo europeo utilizzerà inizialmente il collegamento transfrontaliero italo-francese (Tunnel del Frejus, Lione, Strasburgo, Parigi) e successivamente anche quello italo-austriaco (Brennero).

Dopo il completamento del collegamento Torino-Matera tra INRIM e Centro di Geodesia Spaziale dell'ASI avvenuto alla fine del 2018, nel 2019 LIFT è entrato nella sua piena operatività. L'intero tratto di 1750 km è stato caratterizzato e sono iniziate le prime campagne di misura che coinvolgono il massimo tratto disponibile, ovvero proprio la connessione INRIM-ASI Matera, per misure metrologiche degli orologi presenti a Medicina e Matera e per misure VLBI.

Sempre nel 2019, sono iniziati i primi test per l'uso di LIFT per le tecnologie quantistiche, in particolare per la comunicazione quantistica e la QKD su fibra in ambiente reale.

In particolare, è stato utilizzato un segmento di circa 100 km da Torino verso Sud e un segmento più corto nell'area metropolitana (MAN) di Firenze, con l'obiettivo rispettivo di indagare trasmissioni QKD a lungo percorso e nuovi dispositivi QKD su MAN.

#### **4.5 - NANOFACILITY PIEMONTE**

L'INRIM è, al momento, l'unico Istituto Nazionale di Metrologia in Europa, insieme al PTB, a possedere un centro di micro e nanofabbricazione. L'istituto vanta una pluriennale esperienza nel campo della litografia, sia ottica che laser, e nella nanolitografia a fascio elettronico, nella crescita e deposizione di film sottili e nell'attacco chimico liquido e gassoso dei materiali e possiede 20 m<sup>2</sup> di camera bianca in classe ISO5 e 150 m<sup>2</sup> di ambienti a controllo particellare in classe ISO6. Nel triennio, sono previsti alcuni lavori di riqualificazione della Palazzina Q che permetteranno l'espansione ad altri 150 m<sup>2</sup> di ambiente pulito da dedicare alle micro e nanotecnologie.

Nanofacility Piemonte INRIM è un laboratorio di nanofabbricazione mediante microscopia elettronica e ionica. È attivo dal 2010 grazie ad un contributo della Compagnia di San Paolo, e vanta al suo attivo migliaia di ore di funzionamento per servizi alla ricerca sul territorio e in metrologia.

L'infrastruttura è dedicata alla ricerca nel campo della nanofabbricazione e al controllo della materia a livello nanoscopico, per la realizzazione di micro e nano-dispositivi di interesse fondamentale e applicato, fornendo un servizio a livello regionale, nazionale ed europeo. Vengono sviluppate 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 nanoSQUID, SET e dispositivi basati su whiskers e nanowires, ottiche diffrattive e nanostrutture per la plasmonica e la fotonica, preparative per microscopia elettronica in trasmissione e per tecnologie X (GISAX, NEXAFS, etc.). E ancora lavorazione FIB ed EBL+RIE del diamante per la fabbricazione di nanostrutture superficiali di estrazione della radiazione dai centri di luminescenza tramite nanolenti, lenti di Fresnel, nanopillars e guide d'onda. Tali tecniche sono accoppiate a litografia ottica e a litografia per self-assembly, con una continuità di risoluzione che va dai centimetri ai 10 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.

#### **4.6 - 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 sul territorio per la metrologia e la comunicazione quantistica, che si avvale 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 camioni atomici di frequenza o della comunicazione quantistica, dove si hanno i primi sviluppi commerciali.

PiqueT offre i benefici dalla nanofabbricazione, con dispositivi integrati, prestazioni migliori e costi ridotti rispetto alle prime realizzazioni in tecnologie "bulk" non integrate.

D'altro canto, la nanofabbricazione potrà incorporare i principi quantistici più complessi, che possono potenziare e trasformare i materiali e i dispositivi finora prodotti.

Per loro natura, le TQ richiedono quindi un ecosistema di ricerca e industriale coeso e un ambiente di sviluppo dove la ricerca e la produzione siano più legati e sia possibile introdurre nel mondo industriale uno sviluppo di materiali e dispositivi quantistici "by design".

Elemento centrale di PiQuET è l'impianto di camera pulita da 500 m<sup>2</sup> (6 ambienti ISO7) ad alto controllo della qualità ambientale e dei contaminanti, secondo i moderni criteri ISO 14644-1 (vedi par. 1.7), in cui PiQuET:

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

Nel 2019, gli enti coinvolti hanno deciso di sviluppare PiqueT all'interno del campus INRIM mantneendoperò l'opportunità strategica di un contesto aperto a Politecnico e Università, oltre che alla vocazione di trasferimento tecnologico unita alla ricerca.

L'acquisizione delle infrastrutture, i.e. la camera pulita, e delle nuove strumentazioni presenti nel progetto sono state portate avanti secondo i programmi e si aspetta la piena operatività del nuovo laboratorio per l'autunno del 2020.

Al contempo, è stata avviata l'indagine dei nuovi filoni di ricerca realizzabili attraverso Piquet e le interazioni tra le componenti di nanofabbricazione e di tecnologie quantistiche.

#### **4.7 - 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.

Le due macro-aree d'interesse sono:

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

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

Il Laboratorio contaminanti ambientali e il Laboratorio Istopatologia dell'IZSTO collaborerà al progetto per la ricerca di MOCA (Materiali e Oggetti a contatto con Alimenti) negli alimenti, focalizzandosi sullo sviluppo di metodi analitici sensibili e specifici per la determinazione, nel food packaging, di nano particelle metalliche (NPs). Inoltre verranno sviluppate tecniche analitiche ufficiali per l'individuazione di MOSH (idrocarburi saturi, sia lineari che ramificati) e MOAH (idrocarburi aromatici, costituiti da uno o più anelli benzenici), olii minerali derivati dal petrolio. L'unità svilupperà inoltre sistemi biologici atti ad evidenziare interferenti endocrini presenti nel food packaging.

IL CREA metterà a disposizione le proprie conoscenze sul packaging in ambito enologico. In particolare studierà le problematiche relative alla determinazione in vino di contaminanti provenienti da tappi in materiale naturale (p.es tricloroanisolo da sughero) e sintetico. Apporterà competenze relative ai sistemi di chiusura delle bottiglie e l'Oxygen Transfer Rates (OTR) attraverso le stesse, finalizzate a studi di shelf life dei prodotti vitivinicoli.

L'IPSP contribuirà allo sviluppo di composti naturali in alternativa agli agenti chimici con proprietà antimicrobiche e antiossidanti e che sono riconosciuti come sicuri nelle concentrazioni utilizzate nei prodotti alimentari. Coinvolgerà personale tecnico per il mantenimento delle attrezzature riguardanti il progetto, con particolare riferimento alle biotecnologie microbiche e vegetali per la produzione di componenti utili allo sviluppo di nuovi packaging attivi con proprietà antimicrobiche.

L'ISPA ha competenze nell'ambito della proteomica, con consolidato background nell'ambito dell'applicazione della spettrometria di massa all'analisi delle proteine e dispone strumentazioni e competenze utili alla determinazione del profilo composizionale degli alimenti e della presenza di contaminanti quali micotossine.

IMPreSA ha l'ambizione di diventare un centro nazionale per l'analisi chimica dedicato al food packaging di supporto alle aziende e agli enti di controllo. La nuova IR incentiverà la possibilità di finanziarsi sia a livello locale sia europeo. L'acquisizione di strumentazione all'avanguardia permetterà all'INRIM di essere tra i primi istituti nel campo della metrologia in chimica.

## 5 - ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE

L'attività di terza missione comprende la valorizzazione e la promozione dei risultati della ricerca in metrologia, contestualizzando i risultati e i prodotti ottenuti per favorire l'avanzamento delle conoscenze sia a fini produttivi sia sociali.

### 5.1 - FINALITÀ E OBIETTIVI

L'impegno dell'INRIM su questo fronte è molteplice ed è incentrato sui seguenti obiettivi:

- diffusione della cultura scientifica/metrologica (rientrano in quest'ambito sia le attività legate all'Alta Formazione e alla Formazione Continua o Permanente dedicate agli addetti ai lavori, che le attività di Public Engagement rivolte invece al vasto pubblico);
- potenziamento dei servizi conto terzi e 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 per molteplici attività (in quest'ambito rientra anche la gestione dei certificati di taratura e prova, in applicazione delle indicazioni della procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) dell'INRIM che riguarda le attività a carattere amministrativo per la preparazione dei certificati di taratura e prova);
- sviluppo dell'attività relativa al deposito di Brevetti e partecipazione a Programmi MIUR a supporto della valorizzazione dell'attività di brevettazione della ricerca pubblica italiana;
- promozione della costituzione di imprese fondate sull'impiego di saperi e di tecnologie sviluppate in INRIM (Spin Off).

### 5.2 – DIFFUSIONE DELLA CULTURA SCIENTIFICA/METROLOGICA

L'INRIM svolge numerose attività di Terza Missione volte a promuovere la diffusione della cultura scientifica/metrologica.

In particolare, la Direzione Scientifica si dota, a livello interdivisionale, di un Settore che persegue l'obiettivo di diffondere la cultura metrologica e della qualità (in conformità all'accordo CIPM MRA) e di promuovere le attività di Public Engagement coinvolgendo sempre più il tessuto sociale del Paese. INRIM è Istituto Nazionale e pertanto si vorrebbe estendere la sua capacità di penetrazione dal territorio provinciale e regionale ad iniziative divulgative a carattere nazionale, anche attraverso la ricerca di fonti di finanziamento.

Le attività in cui l'Istituto si impegna, suddivise tra Alta Formazione e Formazione Continua o Permanente da un lato e Public Engagement dall'altro, sono le seguenti:

#### Alta Formazione e Formazione Continua o Permanente

- 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).

#### Public Engagement

- partecipazione a Comitati e Commissioni di enti normatori;
- visite di scuole e privati ai laboratori dell'INRIM; collaborazioni con le scuole;
- organizzazione di eventi pubblici a carattere scientifico/metrologico;
- comunicazione e divulgazione rivolta al grande pubblico;
- produzione e gestione di beni culturali.

Di seguito sono descritte le attività nel dettaglio.

### 5.2.1 - ATTIVITÀ DI ALTA FORMAZIONE: COLLABORAZIONE AD ATTIVITÀ FORMATIVE ISTITUZIONALI SVOLTE DALLE UNIVERSITÀ

Un importante ambito di attività di terza Missione è quello legato al mondo accademico.

Numerosi ricercatori e tecnologi dell'INRIM svolgono attività di docenza, sia a livello locale presso il Politecnico di Torino e l'Università degli Studi di Torino, che presso altre Università italiane; tale attività si esplica attraverso incarichi di insegnamento in 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, attivato attraverso una convenzione stipulata tra l'INRIM e il Politecnico di Torino, che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico.

E' 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.

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 curricolari; inoltre vengono svolte tesi di Laurea Magistrale.

**Tabella 13 - Collaborazione per anno ad attività formative istituzionali svolte dalle università**

Numero totale di corsi di didattica universitaria (corsi di laurea, master) erogati	14
Numero totale di ore di didattica universitaria complessivamente erogate	350
Numero di ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti	22
Numero totale di corsi di dottorato in convenzione	1
Numero totale di studenti di dottorato attivi nell'anno	51
Numero di borse di dottorato erogate dall'ente nell'anno	13
Numero di tirocini curricolari + tesi magistrali	60

### 5.2.2 - ATTIVITÀ DI ALTA FORMAZIONE: FORMAZIONE CONTINUA O PERMANENTE

L'INRIM attiva corsi di formazione di argomento metrologico rivolti a soggetti adulti, al fine di adeguare o di elevare il loro livello professionale; i corsi coinvolgono il personale di imprese ed enti pubblici, nonché i docenti di scuole di ogni ordine e grado. Nell'ambito scolastico (secondaria di secondo grado) partecipa ad azioni relative ai Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento ( PCTO , ex ASL) con numerosi studenti che svolgono tirocini curricolari (su richiesta delle scuole) presso i laboratori.

Nel corso del 2019 l'INRIM ha avviato l'attivazione di 20 tirocini extra-curricolari, dedicati agli studenti che si sono diplomati; l'iter è in corso e verrà definita una procedura ad hoc.

A richiesta si tengono seminari sul Sistema Internazionale e si partecipa in qualità di docenti ad eventi formativi proposti da associazioni (es. AIF- Associazioni Insegnanti di Fisica, "La Fisica in gioco" per l'orientamento universitario...); 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.

Si prevede un progetto per l'allestimento di un locale adibito a laboratorio didattico dove installare in modo permanente alcuni esperimenti da presentare agli studenti in visita per migliorare l'offerta verso l'esterno e implementare l'attività di diffusione metrologica. Un contributo didattico più qualificato a tutta questa attività potrebbe essere fornita da un collaboratore (un assegnista) con competenze scientifiche integrate da interessi pedagogici.

**Tabella 14 - Formazione continua o permanente per anno**

Numero totale di corsi erogati	19
Numero totale di ore di didattica assistita complessivamente erogate	195
Numero totale di partecipanti	320
Numero di ricercatori e tecnologi coinvolti complessivamente	10
Numero di organizzazioni esterne coinvolte come utilizzatrici dei programmi	20
di cui imprese	7
di cui enti pubblici	1
di cui istituzioni no profit	4
di cui scuole	8
Numero di tirocini curricolari	55
Numero di tirocini extra-curricolari	20

### **5.2.3 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: PARTECIPAZIONE A COMITATI E COMMISSIONI**

Il personale dell'INRIM fa parte dei comitati tecnici dei seguenti enti normatori: CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), CEN (Comitato Europeo di Normazione), IEC (International Electrotechnical Commission), UNI (Ente Italiano di Normazione). Periodicamente gli enti indicano riunioni di comitato, allo scopo di provvedere allo sviluppo e alla creazione di norme, ovvero documenti che definiscono le caratteristiche di prodotti, processi o servizi, specificando come fare bene le cose, garantendo sicurezza, rispetto per l'ambiente e prestazioni certe.

### **5.2.4 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: VISITE SCUOLE/PRIVATI AI LABORATORI INRIM E COLLABORAZIONI CON LE SCUOLE**

L'INRIM organizza/partecipa a iniziative di orientamento e interazione rivolte alle scuole (di ogni ordine e grado) e ai privati cittadini.

Nel triennio si prevede di portare avanti le iniziative consolidate ma anche di allargare a nuovi ambiti, anche in considerazione dell'entrata in vigore del nuovo SI:

- Bambini e bambine: un giorno all'università (ITER-Comune To e Agorà scienza): visite ai laboratori;
- Le sfide della metrologia e l'evoluzione tecnologica (Settimana della Scienza- Centroscienza): visite ai laboratori;
- Visite ai laboratori rivolte a scuole, privati e associazioni, organizzate (su richiesta) direttamente dal personale dell'Istituto;
- Progetto BATTI il 5! (in collaborazione con Fondazione Mirafiori) per scuole primarie e medie: interventi didattici a cura dei ricercatori dell'INRIM;
- La scienza della misura nell'insegnamento scientifico (per insegnanti e studenti con MIUR e CESEDI Città Metropolitana);
- Percorso PTCO per una classe di 4 liceo di Luino (Va)- 2020;
- Organizzazione di una giornata di seminari e visite presso INRIM sul nuovo SI in favore della Scuola di Storia della fisica dell'AIF -2020;
- INFOSTAGE - Politecnico di Torino;
- Sperimentazioni didattiche con alcune classi (primarie e medie inferiori) del territorio: si tratta di iniziative di approfondimento della metrologia come esperienza di ogni giorno, che prevedono laboratori svolti presso le scuole;
- Pubblicazione di materiale documentale su sito Registrazione su piattaforma Miur SOFIA per certificazione dei corsi tenuti da INRIM secondo l'art.1 comma 5 della direttiva MIUR 170/2016;
- Giornata di presentazione dei tirocini/tesi INRIM agli studenti della laurea triennale del Politecnico e del Dipartimento di Fisica (UNITO).

### **5.2.5 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: ORGANIZZAZIONE DI EVENTI PUBBLICI**

#### **Notte dei ricercatori**

Si tratta di un evento promosso dalla CE attraverso i progetti di Horizon 2020 in molte città europee. Si svolge in collaborazione con Agorà Scienza e Centroscienza (nel 2019 l'iniziativa è stata autogestita con il coordinamento di Ricercatrici UNITO).

L'INRIM aderisce con ricercatori e dottorandi che propongono alla cittadinanza esperimenti e curiosità legate alla fisica e metrologia; il numero di visitatori di passaggio presso gli stand allestiti è di alcune migliaia.

#### **World Metrology Day**

Nel 2019 sono state dedicate due giornate (18 e 20 maggio 2019) alla celebrazione della Giornata Mondiale della Metrologia, attraverso l'organizzazione di seminari divulgativi (rivolti anche alle scuole nel corso dell'anno) e una conferenza dedicata all'entrata in vigore del nuovo SI e alle costanti della fisica (in collaborazione con l'Accademia delle Scienze e Centroscienza Torino).

### **5.2.6 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: COMUNICAZIONE E DIVULGAZIONE RIVOLTA AL GRANDE PUBBLICO**

L'INRIM svolge una costante opera di comunicazione e divulgazione anche attraverso le seguenti attività:

- Conferenze, congressi e seminari divulgativi rivolti al grande pubblico (Conference course "Il Tempo della Scienza – I Seminari");
- Open Day: laboratori aperti alla cittadinanza;
- Interviste e servizi radio-televisivi e online;
- Pubblicazioni divulgative su riviste e giornali nazionali;
- *Performance* teatrali divulgative;
- Didattica online "Il mondo delle misure: le video-lezioni di INRIM su weschool.com" (piattaforma d'istruzione digitale);
- Divulgazione online su portale (Portale della metrologia "Simisura.it");
- Rassegna stampa online sul portale INRIM;
- Profilo Facebook dell'INRIM.

Si stima un impatto di alcune migliaia di persone nel triennio.

### **5.2.7 - ATTIVITÀ DI PUBLIC ENGAGEMENT: PRODUZIONE E GESTIONE DI BENI CULTURALI**

Si tratta delle attività di valorizzazione del patrimonio culturale svolte dall'INRIM e, in particolare, la fruizione e l'accesso a strutture museali e collezioni scientifiche, attività che dimostrano la capacità da parte dell'ente di fornire un contributo alla comunità.

Tra queste attività spicca la riqualificazione della sede storica dell'Istituto, situata a Torino in Corso Massimo D'Azeglio 42. In particolare si è provveduto, e si continuerà a provvedere nel triennio, alla valorizzazione di:

- sala convegni "Vallauri";
- collezioni scientifiche legate alla storia della metrologia industriale (l'INRIM possiede un ricco patrimonio di materiale storico, che non è stato ancora valorizzato a livello museale; si prevede nel triennio di sviluppare quest'attività, coinvolgendo il personale in possesso delle necessarie competenze);
- biblioteca storica.

Rientrano in quest'ambito anche le seguenti iniziative, volte a promuovere non solo gli aspetti storici della metrologia ma anche quelli più attuali:

- World Metrology Day: seminario su Galileo Ferraris presso la biblioteca storica ed esposizione antichi strumenti di misura (18 maggio 2019);
- Open House 2019: apertura straordinaria della sede storica al pubblico (visite gratuite dell' 8 e 9 giugno 2019), a cura dell' Associazione Culturale Open House Torino;
- Notte dei Ricercatori 2019: ricercatori e dottorandi propongono ai visitatori esperimenti e curiosità legate alla fisica e metrologia (27 settembre 2019).

Queste iniziative hanno coinvolto nell'anno circa un migliaio di visitatori.

### **5.3 - SERVIZI CONTO TERZI**

L'INRIM svolge un'intensa attività di taratura e prova di sensori, strumenti e manufatti, sulla base delle capacità di taratura dell'istituto riconosciute in ambito internazionale (CIPM-MRA). Tale attività, che avviene su base commerciale, è sviluppata riscontrando le richieste di riferibilità e di misura, anche in nuove aree scientifiche, provenienti dai settori dell'industria e della pubblica amministrazione, e contestualizzando l'offerta e i risultati ottenuti per favorire l'avanzamento delle conoscenze sia a fini produttivi che a fini sociali.

Tra le altre attività, il Settore interdivisionale della Direzione Scientifica si occupa di diffondere la cultura metrologica e 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 per molteplici attività; la diffusione è svolta sia all'interno dell'Ente (attraverso il supporto al personale) che all'esterno tramite seminari dedicati. E' attiva una collaborazione del settore all'interno della EMN "Tracelabmed" per la riferibilità delle misure in medicina, allo scopo di lavorare sulla riferibilità delle misure in medicina e dell'organizzazione in qualità di un

laboratorio medicale, operante in base alla norme UNI EN ISO 15189:2013.

Il personale del settore provvede inoltre a gestire le operazioni di preparazione delle pratiche di certificati di taratura, rapporti di prova e relazioni ILC, in ottemperanza alla procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ). In particolare, il settore mette in atto operazioni di controllo relativamente alla correttezza della pratica, predisporre la documentazione per l'invio attraverso un software dedicato (di produzione Cineca), che assolve al compito di protocollazione e di trasmissione ai responsabili tecnici dell'attività e agli uffici amministrativi di competenza.

Per supportare l'utenza sul mercato internazionale, favorendo l'esportazione e il libero scambio delle merci, l'INRIM ha sviluppato e rende disponibili oltre 400 capacità di taratura e misura riconosciute a livello internazionale; ulteriori capacità e servizi di misura sono erogati su richiesta dell'utenza, nell'ambito delle funzioni di Istituto Metrologico Primario italiano.

Impegno strategico in tale contesto è il mantenimento di tali servizi, che richiedono importanti risorse per quanto riguarda l'impegno di personale, l'adeguamento dei laboratori e delle apparecchiature, lo sviluppo di nuove *facilities*, oltre che un modello organizzativo che consenta di supportare e avviare nuovi e/o migliori servizi.

Nella tabella seguente sono riportati i dati dei certificati di taratura e prova previsti per il triennio 2019-2021.

**Tabella 15 - Attività di taratura, misura e prova prevista per il triennio 2019-2021**

Anno	Numero di documenti emessi				
	Certificati di taratura	Rapporti di prova	Relazioni ILC	Altri certificati e rapporti	Totale
2019	1.900	35	150	200	2.285
2020	1.900	35	150	200	2.285
2021	1.900	35	150	200	2.285

#### **5.4 - BREVETTI**

L'INRIM persegue la tutela e la valorizzazione dei risultati della ricerca, promuovendo il deposito e l'utilizzo dei brevetti d'invenzione nonché azioni intese a favorire il trasferimento tecnologico e l'applicazione (*uptake*) di soluzioni innovative all'industria.

A tal riguardo, sono in predisposizione documenti di policy riguardanti lo sviluppo della cooperazione con altre organizzazioni pubbliche e private e la partecipazione a iniziative in materia di innovazione e di trasferimento della conoscenza, anche in convenzione, per stimolare l'interesse del sistema delle imprese all'applicazione dei risultati della ricerca.

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

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

#### **5.5 – IMPRESE SPIN OFF**

L'INRIM promuove la costituzione di imprese fondate sull'impiego di saperi e di tecnologie sviluppate prevalentemente al proprio interno. A tal riguardo, sono in corso di preparazione documenti di policy per regolamentare modalità e percorsi atti a favorire la creazione di spin-off e rafforzarne le capacità competitive nell'offerta di tecnologia avanzata.

## 6 - IL CAPITALE UMANO

Il confronto con le principali economie continentali mette in luce una carenza strutturale della dimensione della metrologia italiana rispetto alle corrispondenti istituzioni nazionali europee, sia in rapporto al prodotto interno lordo del Paese, sia in rapporto al fatturato dell'industria manifatturiera. In questo contesto, l'Ente è chiamato a rafforzare il proprio ruolo, in un percorso di crescita strategica al servizio del Paese, ed intende farlo 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, sia investendo in risorse umane altamente qualificate.

Il Piano di fabbisogno del personale 2019-2021 conferma la linea strategica di crescita e potenziamento intrapresa con il Piano 2018-2020 che, sfruttando con responsabilità l'autonomia concessa dal nuovo ordinamento degli EPR, ha segnato un importante punto di discontinuità per il rilancio della metrologia nel nostro Paese.

### 6.1 – SOSTENIBILITÀ DEL COSTO DEL PERSONALE E DEFINIZIONE DEL PUNTO ORGANICO

Lo sviluppo delle risorse umane è sottoposto a stringenti vincoli di sostenibilità finanziaria. Ai sensi dell'art. 9, comma 2, del Decreto legislativo 25 novembre 2016, n. 218, attuativo della legge 124/2015, negli Enti Pubblici di Ricerca l'indicatore del limite massimo alle spese di personale, calcolato rapportando le spese complessive per il personale di competenza dell'anno di riferimento alla media delle entrate complessive dell'Ente come risultante dai bilanci consuntivi dell'ultimo triennio non può superare l'80 per cento.

**Tabella 16 – Indicatore di sostenibilità 2019 (art. 9, secondo comma, D.Lgs. 218/2016)**

	2016	2017	2018
<b>Totale Entrate (Ricavi per il 2018)</b>	32.651.109	31.754.473	31.895.788
<b>Media Entrate/Ricavi nel triennio</b>	32.100.457		
<b>Costo del personale a carico del contributo ordinario ANNO 2018</b>	14.484.841		
<b>Rapporto Costo del personale 2018/ Media delle Entrate nel triennio</b>	<b>45,12%</b>		

Ai sensi del quarto comma dell'articolo citato il calcolo delle spese complessive del personale è dato dalla somma algebrica delle spese di competenza dell'anno di riferimento, comprensive degli oneri a carico dell'Amministrazione, al netto delle spese sostenute per personale con contratto a tempo determinato la cui copertura sia stata assicurata da finanziamenti esterni di soggetti pubblici o privati.

INRiM dal 2018, primo tra gli Enti pubblici di ricerca italiani, ha adottato la contabilità economica, pertanto i dati forniti dal medesimo esercizio rappresentano le grandezze economiche corrispondenti a quelle finanziarie indicate dalla normativa. Nello specifico, per la categoria "Entrate" viene fornito il dato dei ricavi corrispondenti e per la categoria "Spese" quello dei costi. La rappresentazione economica consente una più precisa determinazione del rapporto, che rappresenta un, pur solo parzialmente significativo, indice di sostenibilità della struttura del personale.

In un quadro di flussi positivi (entrate per il 2016-2017, ricavi per il 2018) sostanzialmente costanti, l'indicatore del limite massimo di costo per il personale dell'INRiM è pari al **45,12 %**, in sensibile incremento rispetto il **38,3%** del 2018, ma saldamente sotto il valore limite del 80%. L'incremento dell'indicatore dipende dall'incremento del numeratore, passato da un valore di spesa 2017 pari a **12,1** milioni, ad un costo 2018 di **14,5**. Si deve però notare che il costo del personale 2018 comprende un accantonamento per rischi, da considerarsi straordinario, derivanti da un potenziale contenzioso relativo al personale e legato ad esercizi piuttosto risalenti, per **1** milione di euro. Al netto di questo accantonamento, l'incidenza del costo scende al **42,01%**, da considerarsi il valore corretto dell'indicatore 2019. Peraltro, in assenza di una previsione normativa che preveda esplicitamente l'esclusione di questa tipologia di costi dal calcolo, e tenuto conto – vista la distanza dal limite del **80%** - dell'irrelevanza ai fini pratici della correzione, non si ritiene di dover

forzare il dettato normativo, pur plausibile in applicazione del generale criterio di prevalenza della sostanza sulla forma.

Secondo quanto previsto dalla lettera c), sesto comma, del citato art. 9, che introduce il concetto di punto organico nel comparto degli EPR, il dipartimento delle Funzione Pubblica, con nota 13 dicembre 2017, n.72298-P, ha definito il costo medio annuo di riferimento per ciascuna qualifica di personale, esprimendola in relazione al costo del Dirigente di ricerca. Di seguito la corrispondenza tra ciascun profilo-livello e il valore del punto organico (PO). A differenza di quanto accade per il comparto universitario, il valore dei PO viene definito sulla base dei valori storici specifici per ciascun Ente e pertanto è differenziato per singola Amministrazione.

**Tabella 17 - Punti organico INRiM (DFP, nota n.72298-P del 13.12.2017)**

Livello	PO per INRiM
I RIC	1,0000
II RIC	0,6820
III RIC	0,4380
I TEC	0,8320
II TEC	0,5290
III TEC	0,4600
II Dir Amm	1,1786
IV	0,4720
V	0,4340
VI	0,3840
VII	0,3570
VIII	0,3310

**Il valore economico del punto organico** per INRiM, comprensivo dell'accantonamento annuo al Fondo TFR, risulta pari a **126.588** euro, ottenuto sommando l'accantonamento al TFR, pari a 6.257 euro, ai 120.331 euro indicati dalla tabella MIUR.

#### 6.1.1 – ORGANICO EFFETTIVO ED ORGANICO TEORICO

Nel corso del 2018 si è pressoché realizzato il Piano di fabbisogno autorizzato con il PTA 2017-2019. Al 31.12.2018 rimanevano residue facoltà assunzionali per 3 posizioni a valere sul budget 2017 (1 Funzionario di Amministrazione di V livello e 2 Collaboratori Tecnici di VI livello). Nel corso del secondo semestre del 2018 hanno avuto avvio le procedure legate alla, ampia e ambiziosa, programmazione 2018 (PTA 2018-2020), pari a complessive 61 unità di personale, di cui 10 appartenenti alle categorie protette. L'organico effettivo, ovvero il personale a tempo indeterminato effettivamente in servizio, per il periodo 2013-2018 è rappresentata nella tabella 18. I dati sono riferiti al 31.12 di ciascun esercizio.

**Tabella 18 – Organico effettivo. Personale a tempo indeterminato**

Profilo	Livello	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dirigente I fascia		-	-	-	-	-	-
Dirigente II fascia		-	-	-	-	-	1
Dirigente di ricerca	I	10	8	7	8	7	8
Primo ricercatore	II	22	21	21	19	19	23
Ricercatore	III	51	50	47	51	52	54
Dirigente tecnologo	I	2	2	2	2	2	2
Primo tecnologo	II	8	7	7	8	8	9
Tecnologo	III	6	5	5	5	7	8
Collaboratore tecnico E.R.	IV	32	30	28	27	26	27
Collaboratore tecnico E.R.	V	15	14	14	13	13	12
Collaboratore tecnico E.R.	VI	19	19	19	18	20	21
Operatore tecnico	VI	10	10	8	8	8	8
Operatore tecnico	VII	5	5	5	5	5	5
Operatore tecnico	VIII	5	5	4	4	3	4
Funzionario di amministrazione	IV	3	3	2	2	2	3
Funzionario di amministrazione	V	1	1	1	1	1	4
Collaboratore di amministrazione	V	10	10	10	10	10	9
Collaboratore di amministrazione	VI	1	1	1	1	1	3
Collaboratore di amministrazione	VII	3	3	3	3	3	3
Operatore di amministrazione	VII	7	6	6	4	4	3
Operatore di amministrazione	VIII	-	-	-	-	-	-
<b>Totale</b>		<b>210</b>	<b>200</b>	<b>190</b>	<b>189</b>	<b>191</b>	<b>207</b>

*(Dati riferiti al 31.12)*

L'organico teorico al 31.12.2018 è pari al valore dell'organico effettivo cui si sommano le posizioni autorizzate e ancora non utilizzate sui budget assunzionali 2017 (PTA 2017-2019) e 2018 (PTA 2018-2020), cui si aggiungono ulteriormente le posizioni relative alle categorie protette, il cui numero deriva dall'applicazione di percentuali obbligatorie e, pertanto, sottratte al regime autorizzatorio. In base agli articoli 1, 8 e 18 della L. n. 68/1999, e al netto dell'assunzione di un'unità effettuata durante il 2018, al 31.12.2018 INRiM doveva assumere obbligatoriamente ulteriori 11 unità.

Nel corso del 2019, sempre in relazione alle categorie protette, sono state coperte 3 posizioni, 3 posizioni risultano attualmente oggetto di procedure in corso, mentre 4 posizioni, tutte per CTER, non hanno trovato copertura nonostante l'espletamento della relativa procedura (si veda la successiva tabella 24).

L'organico teorico, risultante dalla programmazione 2018, risulta complessivamente pari a 252 unità per **119,7982** punti organico, con un valore economico standard corrispondente di **15.165.014,54** euro. Tale valore economico porta l'indicatore del costo del personale dal **45,12%** del 2018 al **47,24%**, in incremento ma decisamente distante dal limite massimo del 80%.

Tabella 19. Organico Teorico e Costo Teorico Standard 2018

Profilo	Livello	Organico effettivo 31.12.2018	Posizioni su budget 2017	Posizioni su budget 2018	Posizioni categorie protette	Organico Teorico 31.12.2018	Valore standard unitario	PO	Valore economico (€)
Dirigente I fascia		-		-		-		-	
Dirigente II fascia		1		1		2	1,1786	2,3572	298.393,23
Dirigente di ricerca	I	8		-		8	1	8	1.012.704,00
Primo ricercatore	II	23		-		23	0,682	15,686	1.985.659,37
Ricercatore	III	54		7		61	0,438	26,718	3.382.178,18
Dirigente tecnologo	I	2		-		2	0,832	1,664	210.642,43
Primo tecnologo	II	9		1		10	0,529	5,29	669.650,52
Tecnologo	III	8		1	1	10	0,46	4,6	582.304,80
Collaboratore tecnico E.R.	IV	27		-		27	0,472	12,744	1.613.237,47
Collaboratore tecnico E.R.	V	12		-		12	0,434	5,208	659.270,30
Collaboratore tecnico E.R.	VI	21	2	13	5	41	0,384	15,744	1.993.001,47
Operatore tecnico	VI	8		-		8	0,384	3,072	388.878,34
Operatore tecnico	VII	5		-		5	0,357	1,785	225.959,58
Operatore tecnico	VIII	4		0	1	5	0,331	1,655	209.503,14
Funzionario di amministrazione	IV	3		-		3	0,472	1,416	179.248,61
Funzionario di amministrazione	V	4	1	3		8	0,434	3,472	439.513,54
Collaboratore di amministrazione	V	9		-		9	0,434	3,906	494.452,73
Collaboratore di amministrazione	VI	3		-		3	0,384	1,152	145.829,38
Collaboratore di amministrazione	VII	3		5	3	11	0,357	3,927	497.111,08
Operatore di amministrazione	VII	3				3	0,357	1,071	135.575,75
Operatore di amministrazione	VIII	-		0	1	1	0,331	0,331	41.900,63
<b>Totale</b>		<b>207</b>	<b>3</b>	<b>31</b>	<b>11</b>	<b>252</b>		<b>119,7982</b>	<b>15.165.014,54</b>

**Tabella 20 – Organico effettivo. Personale complessivo in servizio al 31.12**

Profilo	Livello	Tempo Indeterminato 2017	Tempo Indeterminato 2018	Tempo determinato 2017	Tempo determinato 2018	Organico complessivo 2017	Organico complessivo 2018
Dirigente I fascia						0	0
Dirigente II fascia			1			0	1
Dirigente di ricerca	I	7	8			7	8
Primo ricercatore	II	19	23	2		21	23
Ricercatore	III	52	54	6		58	54
Dirigente tecnologo	I	2	2			2	2
Primo tecnologo	II	8	9			8	9
Tecnologo	III	7	8	3	1	10	9
Collaboratore tecnico E.R.	IV	26	27			26	27
Collaboratore tecnico E.R.	V	13	12			13	12
Collaboratore tecnico E.R.	VI	20	21	1	1	21	22
Operatore tecnico	VI	8	8			8	8
Operatore tecnico	VII	5	5			5	5
Operatore tecnico	VIII	3	4			3	4
Funzionario di amministrazione	IV	2	3	5	4	7	7
Funzionario di amministrazione	V	1	4			1	4
Collaboratore di amministrazione	V	10	9			10	9
Collaboratore di amministrazione	VI	1	3			1	3
Collaboratore di amministrazione	VII	3	3	2	3	5	6
Operatore di amministrazione	VII	4	3			4	3
Operatore di amministrazione	VIII					0	0
<b>Totale</b>		<b>191</b>	<b>207</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>210</b>	<b>216</b>

L'incremento effettivo dell'organico appare mitigato estendendo l'osservazione all'andamento del personale a tempo determinato, che in forte riduzione principalmente per effetto delle stabilizzazioni, per complessive 10 unità, effettuate nel 2018.

Le posizioni a tempo determinato, 9 unità al 31.12 del 2018, sono finanziate su fondi propri, derivanti dai programmi di ricerca o conto terzi, in conformità al disposto dell'art. 1, comma 188, della Legge 266/2005,

fatti salvi i rinnovi e le proroghe effettuati ai sensi del DL 75/2017. Il reclutamento in ogni caso avviene mediante procedure concorsuali ad evidenza pubblica.

Il quadro del capitale umano attivo presso l'INRiM comprende ulteriori tipologie di risorse. **Al 31/12/2018** operavano infatti presso INRiM **33 Assegnisti, 2 Borsisti, 34 Associati**, di cui 12 seniores, e **11 dottorandi**, finanziati da INRiM, da varie Università e dal Politecnico di Torino.

Nel corso del 2018 si sono verificate 8 cessazioni di personale a tempo indeterminato, di cui si fornisce il dettaglio nella tabella 21.

**Tabella 21 – Esercizio 2018. Cessazioni dal servizio**

Profilo	Livello	2018		
		Unità	Valore std	P.O.
Dirigente di ricerca	I	1	1	1
Primo ricercatore	II	3	0,682	2,046
Ricercatore	III	2	0,438	0,876
Collaboratore di amministrazione	V	1	0,434	0,434
Operatore di amministrazione	VII	1	0,357	0,357
<b>Totale</b>		<b>8</b>		<b>4,713</b>

Le assunzioni effettuate nel 2018 sono relative a quelle autorizzate, a suo tempo, dal MIUR su budget 2014 e derivanti dalle cessazioni registrate nel triennio 2011-2013, sul budget 2015, da cessazioni 2014, sul budget 2016 da cessazioni 2015. Sono state effettuate inoltre parte delle assunzioni previste, secondo le nuove regole del D.Lgs. 218/2016, dai budget 2017 e 2018. La Tabella 22 riporta il riepilogo delle assunzioni effettuate nell'esercizio 2018, che sommano a 35 immissioni in ruolo, 11 delle quali relative a nuovi inquadramenti, in esito a concorsi pubblici, di personale già in ruolo in diverso profilo.

**Tabella 22 – Reclutamento 2018. Riepilogo personale assunto**

	Profilo	Livello	Reclutamento 2018											Totale	Valore Standard	PO
			Ordinarie 2014	Ordinarie 2015	Reinquadram. 2015	Ordinarie 2016	Reinquadram. 2016	Ordinarie 2017	Reinquadram. 2017	Ordinarie 2018	Reinquadram. 2018	Cat. Protette				
Procedure terminate	Dirigente di ricerca	I			1		1						2	1	2	
	Primo ricercatore	II			-1	1	-1		4	1	3		7	0,682	4,774	
	Ricercatore	III						3	-4	8	-3		4	0,438	1,752	
	Dirigente tecnologo	I											0	0,832	0	
	Primo Tecnologo	II									1		1	0,529	0,529	
	Tecnologo	III								1	-1+1		1	0,46	0,46	
	Dirigente II fascia		1										1	1,1786	1,1786	
	Funzionario di amministrazione	IV								1				1	0,472	0,472
		V						1		2				3	0,434	1,302
	Collaboratore Tecnico	IV				1								1	0,472	0,472
		V										-1		-1	0,434	-0,434
		VI								1				1	0,384	0,384
	Collaboratore di Amministrazione	V												0	0,434	0
		VI								1		1		2	0,384	0,768
		VII												0	0,357	0
	Operatore Tecnico	VI												0	0,384	0
		VII												0	0,357	0
		VIII							1					1	0,331	0,331
	Operatore di amministrazione	VII												0	0,357	0
		VIII												0	0,331	0
<b>Totale</b>			<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>24</b>		<b>13,9886</b>	

Nel 2019, tabella 23, si sono portate a termine le 3 assunzioni residue autorizzate dal budget 2017 (1 Funzionario di Amministrazione di V livello e 2 Collaboratori Tecnici di VI livello).

**Tabella 23 – Reclutamento 2019. Esaurimento budget 2017**

Procedure terminate	Profilo	Livello	Assunzioni 2019 su Budget 2017				
			Ordinarie	Cat. Protette	Totale	Valore Standard	PO
	Collaboratore Tecnico	VI	2		2	0,384	0,768
	Funzionario di Amministrazione	V	1		1	0,434	0,434
	<b>Totale</b>		<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>		<b>1,202</b>

La tabella 24 riassume lo stato di attuazione della rimanente programmazione 2018, approvata con il PTA 2018-2020, evidenziando le procedure già effettuate, ovvero attualmente in corso e, separatamente, quelle da avviare.

**Tabella 24 – Reclutamento 2018-2020. Stato di realizzazione del budget 2018**

Procedure terminate	Profilo	Livello	Assunzioni 2019 su Budget 2018				
			Ordinarie	Cat. Protette	Totale	Valore Standard	PO
	Ricercatore	III					
	<i>Concorso speciale</i>		3		3	0,438	1,314
	Primo Tecnologo	II					
	<i>Concorso speciale</i>		1		1	0,529	0,529
	Tecnologo	III		1	1	0,46	0,46
	Collaboratore Tecnico	VI	3	1	4	0,384	1,536
	<i>Utilizzo graduatorie</i>		1		1	0,384	0,384
	Operatore Tecnico	VIII		1	1	0,331	0,331
	Funzionario di Amministrazione	V	1		1	0,434	0,434
	<i>Utilizzo graduatorie</i>		3		3	0,434	1,302
	<b>Totale</b>		<b>12</b>	<b>3</b>	<b>15</b>		<b>6,29</b>

Procedure in corso	Profilo	Livello	Procedure 2019 su Budget 2018				
			Ordinarie	Cat. Protette	Totale	Valore Standard	PO
	Dirigente II fascia		1		1	1,1786	1,1786
	Ricercatore	III					
	<i>Comma 2</i>		2		2	0,438	0,876
	Tecnologo	III	1		1	0,46	0,46
	Collaboratore di Amministrazione	VII		2	2	0,357	0,714
	Operatore di Amministrazione	VIII		1	1	0,331	0,331
	<b>Totale</b>		<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>		<b>3,5596</b>

Procedure da avviare	Profilo	Livello	Assunzioni residue su budget 2018				
			Ordinarie	Cat. Protette	Totale	Valore Standard	PO
	Ricercatore	III	2		2	0,438	0,876
	Collaboratore Tecnico	VI	9	2	11	0,384	4,224
	Operatore Tecnico	VIII		2	2	0,331	0,662
	Collaboratore di Amministrazione	VII	4	1	5	0,357	1,785
	<b>Totale</b>		<b>15</b>	<b>5</b>	<b>20</b>		<b>7,547</b>

## **6.2 - PROGRAMMAZIONE DEL FABBISOGNO DEL PERSONALE NEL TRIENNIO 2019-2021**

### **6.2.1 - I CRITERI DELLA PROGRAMMAZIONE**

La programmazione 2019-2021 è assunta rispettando i criteri di sostenibilità complessiva e di equilibrio del bilancio, non limitandosi al rispetto formale del limite di cui al quarto comma dell'art. 9, D.Lgs. 218/2016, ma basandosi da un lato sull'effettivo livello dei ricavi caratterizzati da adeguate condizioni di certezza e stabilità e, dall'altro, tenendo conto dei costi di funzionamento del campus.

L'attuale quadro normativo non pone vincoli nella programmazione *qualitativa* di personale. Compete all'Organo di indirizzo, il Consiglio di Amministrazione, la definizione del fabbisogno, nel rispetto dell'unico vincolo posto dal D.Lgs. 218/2016 e dall'esigenza di assicurare la sostenibilità della spesa di personale e gli equilibri di bilancio (art.9, comma 1, del già citato D.Lgs. 218/2016).

Il Consiglio di Amministrazione intende attenersi ai seguenti principi:

- Adeguato presidio dei progetti strategici per l'Istituto;
- Potenziamento delle capacità e competitività scientifiche e tecniche attraverso un equilibrato ricorso al reclutamento esterno e all'offerta di opportunità di crescita per lo staff.
- Superamento delle carenze di personale tecnico e amministrativo assicurando l'ingresso stabile di nuove professionalità indispensabili al buon funzionamento dell'Istituto.
- Equilibrio tra il ringiovanimento del personale e la legittima aspettativa di opportunità di carriera per chi abbia conseguito risultati scientifici e tecnologici di pregio;
- Valorizzazione delle professionalità del personale tecnico e amministrativo mediante attivazione delle procedure di cui all'art. 54 CCNL 98/01 per la progressione di livello nei profili, compatibilmente con le risorse del fondo ex art. 90 del CCNL 2016/2018;
- Valorizzazione delle professionalità del personale ricercatore e tecnologo mediante attivazione delle procedure di cui all'art. 15 CCNL 2002-2005 per la progressione di livello nei profili.

Il Consiglio di Amministrazione esprime quale linea di indirizzo generale di procedere mediante assunzioni da graduatorie ovvero mediante nuovi concorsi, a seconda che esistano o meno graduatorie valide e coerenti con le specifiche esigenze di profili professionali. L'assunzione da graduatorie concorsuali può favorire la riduzione di personale a tempo determinato.

Come indicato più sopra, l'INRiM intende inoltre procedere all'attivazione delle procedure di progressione di livello nei profili tecnici e amministrativi di cui all'art. 54 CCNL 98/01. Il numero delle posizioni attivabili di anno in anno è subordinato alle risorse disponibili da individuare, a decorrere dall'anno 2018, secondo i criteri di cui all'art. 90 del CCNL 2016-2018. Per l'anno 2019, tali risorse vengono provvisoriamente individuate in € 67.479 a cui aggiungere € 22.943 per oneri riflessi; tale determinazione, effettuata tenendo conto del costo effettivo e non in base al costo standard, sarà oggetto di ulteriori approfondimenti considerato che l'INRiM è nato il 01/01/2006 e il suddetto art. 90 del CCNL fa riferimento a parametri di calcolo riferiti ad anni precedenti la sua costituzione.

### **6.2.2 - VALORIZZAZIONE E RICONOSCIMENTO DEL MERITO ECCEZIONALE**

L'INRiM, previo nulla-osta del Ministro dell'istruzione Università e Ricerca, può assumere per chiamata diretta, con contratto a tempo indeterminato, nell'ambito del 5% dell'organico di ricercatori e tecnologi, nei limiti e condizione indicati nel comma 2 e nel comma 4 dell'art.16 del D.Lgs. 218/2016, ricercatori o tecnologi italiani o stranieri dotati di altissima qualificazione scientifica negli ambiti disciplinari propri dell'INRiM, con inquadramento fino al massimo livello contrattuale del personale di ricerca definito dal Consiglio di Amministrazione. La valutazione del merito eccezionale per la chiamata è effettuata dalle Commissioni nominate ai sensi dell'art. 1, comma 210, lettera d) della legge 28 dicembre 2015, n. 208.

Le assunzioni di cui al comma 1 sono effettuate, con contratto a tempo indeterminato, **nell'ambito del 5 per cento** dell'organico dei ricercatori e tecnologi nel limite del numero di assunzioni fatte nel medesimo anno

per concorso e a condizione che siano contabilizzate entrate ulteriori a ciò appositamente destinate. Tenuto conto che la dotazione organica di ricercatori e tecnologi risulta essere di 117 unità, il limite risulta essere di 6 unità.

Gli oneri per i contratti di cui al comma 1 sono a carico del bilancio dell'Ente che devono dimostrare di non aver superato il limite di cui al punto 2.2, senza nuovi o maggiori oneri a carico della finanza pubblica.

I Ministeri vigilanti possono annualmente destinare alle assunzioni di cui al presente articolo specifiche risorse da considerare aggiuntive rispetto al limite di cui al comma 2 dell'articolo 9. Nel caso in cui il MIUR, ministero vigilante dell'INRiM, dovesse stanziare risorse specifiche, l'INRiM intende avvalersi di tale opportunità.

### **6.2.3 - IL SUPERAMENTO DEL PRECARIATO NELLE PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI**

Ai sensi dell'art. 20, comma 1, del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, n. 75, al fine di superare il precariato, ridurre il ricorso ai contratti a termine e valorizzare la professionalità acquisita dal personale con rapporto di lavoro a tempo determinato, l'INRiM ha assunto a tempo indeterminato nel 2018 in coerenza con il piano triennale dei fabbisogni e con l'indicazione della relativa copertura finanziaria, 10 unità di personale non dirigenziale in possesso dei requisiti di legge, tra cui 1 Primo Ricercatore, 6 Ricercatori, 1 Tecnologo, 1 C.T.E.R liv. VI; e 1 Funzionario di Amministrazione liv. IV.

Ai sensi del comma 2 dell'art. 20, nel 2019 l'INRiM ha bandito, in coerenza con il piano triennale dei fabbisogni, ferma restando la garanzia dell'adeguato accesso dall'esterno e con indicazione della relativa copertura finanziaria, una procedura concorsuale riservata per un numero di posizioni di Ricercatore in misura non superiore al cinquanta per cento dei posti disponibili, al personale non dirigenziale in possesso dei requisiti di legge previsti dal comma 2. Il presente Piano attua inoltre l'indirizzo espresso dal Consiglio di Amministrazione dell'INRiM del 18 dicembre 2018, che modifica la programmazione relativa alle assunzioni programmate attraverso procedura riservata ex art. 20, D.Lgs. 25/05/2017, n. 75, comma 2, portando le unità da reclutare nel triennio da 6 a 8, e indicando altresì di utilizzare, ove possibile e in analogia ad altri EPR, la modalità di selezione per titoli e colloquio.

La Presidenza del Consiglio dei Ministri, con decreto del 11/04/2018, ha assegnato ad INRiM il fondo previsto ai sensi dell'art. 1, comma 668 della legge 205/2017, per un totale di € 104.377 per il 2018 e di € 457.653 a decorrere dal 2019. Condizione di utilizzo del fondo è che INRiM destini alle assunzioni di cui al comma 668 risorse proprie aventi carattere di certezza e stabilità in misura pari ad almeno il 50% dei finanziamenti ricevuti, e quindi pari ad almeno € 52.189 per il 2018 e di € 228.827 a decorrere dal 2019.

Inoltre, conformemente alle indicazioni dei Decreti ministeriali di assegnazione dei fondi INRiM destina, entro il 2020, i fondi "ex premiali", pari a 1,2 milioni di euro, al finanziamento delle stabilizzazioni.

I rapporti di lavoro flessibile già in corso con i soggetti coinvolti nelle procedure di cui al comma 2 sono stati prorogati ai sensi del comma 8 del citato art.20. INRiM, inoltre, si riserva di elevare gli ordinari limiti finanziari per le assunzioni a tempo indeterminato nei limiti e alle condizioni di cui al comma 3.

#### 6.2.4- Cessazioni dal servizio 2019-2021. Previsioni

Nelle tabelle che seguono, vengono espone le previsioni delle cessazioni dal servizio.

**Tabella 25.1 - Cessazioni anno 2019 – previsionale**

N. Unità	Profilo/Livello	Data cessazione	Motivo cessazione
1	Funzionario Amministrazione Liv. 5	18/01/2019	Dimissioni volontarie ( <i>periodo di prova</i> )
1	Dirigente Tecnologo Liv. 1 Fascia 5	01/08/2019	Raggiunti limiti di età
1	Primo Ricercatore Liv. 2 Fascia 6	01/08/2019	Dimissioni volontarie
1	OPTec Liv. 6	01/09/2019	Collocamento a riposo d'ufficio
1	CTer Liv 5	01/12/2019	Dimissioni volontarie

**Tabella 25.2 - Cessazioni anno 2020 – previsionale**

N. Unità	Profilo/Livello	Data cessazione	Motivo cessazione
1	Dirigente Ricerca-Liv. 1 Fascia 7	01/03/2020	Raggiunti limiti di età
1	Ricercatore Liv. 3 Fascia 7	01/06/2020	Pensione di vecchiaia a seguito trattenimento in servizio per assenza requisiti contributivi
1	OPTec Liv. 6	01/06/2020	Collocamento a riposo d'ufficio
1	OPTec Liv. 6	01/10/2020	Collocamento a riposo d'ufficio
1	CTER Liv. 4	01/11/2020	Collocamento a riposo d'ufficio

**Tabella 25.3 - Cessazioni anno 2021 – previsionale**

N. Unità	Profilo/Livello	Data cessazione	Motivo cessazione
1	Primo Ricercatore – Liv. 2 Fascia 6	31/01/2021	Collocamento a riposo d'ufficio
1	CTER Liv. 4	01/04/2021	Raggiunti limiti di età
1	Dirigente Ricerca-Liv. 1 Fascia 7	01/08/2021	Raggiunti limiti di età
1	CAMM Liv. 5	01/09/2021	Collocamento a riposo d'ufficio
1	Primo Ricercatore Liv 2 Fascia 7	01/11/2021	Raggiunti limiti di età
1	CTER Liv. 6	01/12/2021	Collocamento a riposo d'ufficio

Una delle cessazioni 2019 si riferisce ad un'unità assunta a fine dicembre 2018, che ha rassegnato dimissioni volontarie dopo meno di un mese. Nei casi in cui la cessazione avvenga nel corso del periodo di prova la posizione nell'organico teorico si ripristina automaticamente, ma l'intervento della chiusura dell'esercizio ne rende opportuna una nuova iscrizione nel fabbisogno 2019.

Gli effetti delle previsioni delle cessazioni dal servizio nel triennio 2019-2021 sui PO sono espone in dettaglio nella tabella 26.

Tutte le previsioni di cessazione sono state calcolate sulla base della normativa vigente; in quest'ambito una eventuale nuova definizione delle condizioni da parte del Governo potrebbe modificare i tempi necessari al raggiungimento dei requisiti pensionistici sia in termini di età che di contribuzione.

Si precisa inoltre che, le risorse derivanti dai risparmi per cessazioni potranno subire variazioni a seguito dell'eventuale applicazione di quanto disposto dal comma 11 dell'art. 72 del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni dalla legge 6 agosto 2008, n. 133 e s.m.i. così come sostituito dall'art. 5

del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 90 convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1, comma 1, della legge 11 agosto 2014, n. 114 in termini di collocamento a riposo d'ufficio.

**Tabella 26 Cessazioni dal servizio 2019-2021. Effetti sui PO**

Profilo	Livello	2019		2020		2021	
		Unità	PO	Unità	PO	Unità	PO
Dirigente di ricerca	I			1	1	1	1
Primo ricercatore	II	1	0,682			2	1,364
Ricercatore	III			1	0,438		
Dirigente tecnologo	I	1	0,832				
Primo Tecnologo	II						
Tecnologo	III						
Dirigente II fascia							
Funzionario di amministrazione	IV						
	V	1	0,868				
Collaboratore Tecnico	IV			1	0,472	1	0,472
	V	1					
	VI					1	0,384
Collaboratore di Amministrazione	V					1	0,434
	VI						
	VII						
Operatore Tecnico	VI	1	0,384	2	0,768		
	VII						
	VIII						
Operatore di amministrazione	VII						
	VIII						
<b>Totale</b>		<b>5</b>	<b>2,766</b>	<b>5</b>	<b>2,678</b>	<b>6</b>	<b>4,088</b>

Tutte le previsioni di cessazione sono state calcolate sulla base della normativa vigente; in quest'ambito una eventuale nuova definizione delle condizioni da parte del Governo potrebbe modificare i tempi necessari al raggiungimento dei requisiti pensionistici sia in termini di età che di contribuzione.

Si precisa inoltre che, le risorse derivanti dai risparmi per cessazioni potranno subire variazioni a seguito dell'eventuale applicazione di quanto disposto dal comma 11 dell'art. 72 del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni dalla legge 6 agosto 2008, n. 133 e s.m.i. così come sostituito dall'art. 5 del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 90 convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1, comma 1, della legge 11 agosto 2014, n. 114 in termini di collocamento a riposo d'ufficio.

## 6.2.5 - LA PROGRAMMAZIONE

In base ai criteri stabiliti dal Consiglio di Amministrazione, l'Istituto intende procedere al reclutamento di personale come esplicitato nelle seguenti tabelle. Nelle tabelle sono inserite, per il loro impatto sui costi, anche le progressioni nei livelli.

Il valore della programmazione risulta così pari a 961.056,10 euro per il 2019 e, tenuto conto del turnover negativo per 28.355,71 nel 2020 e ancora negativo per 131.271,76 euro nel 2021. Ipotizzando un valore costante della media delle entrate, a fine triennio l'indicatore INRIM passerebbe così dal 45,12% al 49,91%.

**Tabella 27 – Reclutamento. Triennio 2019-2021 - Anno 2019**

Profilo	Livello	2019 Triennio 2018-2020			2019	
		Unità	Valore Standard	PO	Unità	PO
Dirigente II fascia			1,1786			
Dirigente di ricerca	I		1		1	1
Primo ricercatore	II		0,682		1	0,682
Ricercatore	III	2	0,438	0,876	6	2,628
Comma 1		1	0,438	0,438		
Comma 2		2	0,438	0,876	6	2,628
Dirigente tecnologo	I		0,832			
Primo Tecnologo	II		0,529			
Tecnologo	III	2	0,46	0,92	2	0,92
Funzionario di amministrazione	IV		0,472			
Funzionario di amministrazione	V		0,434		1	0,434
Collaboratore Tecnico	IV		0,472			
Collaboratore Tecnico	V		0,434			
Collaboratore Tecnico	VI		0,357			
Collaboratore di Amministrazione	V		0,434			
Collaboratore di Amministrazione	VI		0,384			
Collaboratore di Amministrazione	VII		0,357			
Operatore Tecnico	VI		0,384			
Operatore Tecnico	VII		0,357			
Operatore Tecnico	VIII		0,331			
Operatore di amministrazione	VII		0,357			
Operatore di amministrazione	VIII		0,331			
<b>Totale</b>		<b>7</b>		<b>3,11</b>	<b>17</b>	<b>8,292</b>

**Tabella 27bis - Progressione di livello nei profili ex Art. 15 CCNL 2002-2005**

Profilo	Livello	2019 Triennio 2018-2020			2019	
		Unità	Valore Standard	PO	Unità	PO
Primo ricercatore	II					
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,244	0,244	5	1,22
Primo tecnologo						
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,069	0,069		
<b>Totale</b>		<b>2</b>		<b>0,313</b>	<b>5</b>	<b>1,22</b>

**Tabella 27ter - Progressione di livello nei profili ex art. 54 CCNL 98/01**

Profilo	Livello	2019 Triennio 2018-2020		2019	
		Unità	PO	Unità	PO
Funzionario di amministrazione	IV			1	0,038
Collaboratore Tecnico	IV			4	0,152
Collaboratore Tecnico	V			10	0,5
Collaboratore Tecnico	VI				
Collaboratore di Amministrazione	V			1	0,05
Collaboratore di Amministrazione	VI			1	0,027
Collaboratore di Amministrazione	VII				
Operatore Tecnico	VI			1	0,027
Operatore Tecnico	VII			2	0,052
<b>Totale</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0,846</b>
			<b>3,423</b>	<b>TOTALE 2019</b>	<b>10,358</b>

**Tabella 28 – Reclutamento. Triennio 2019-2021 - Anno 2020**

Profilo	Livello	2020 Triennio 2018-2020		2020	
		Num.	P.O	Num.	P.O
Dirigente di ricerca	I				
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,318	1	0,318
Primo ricercatore	II				
Ricercatore	III	4	1,752	4	1,752
Comma 2		2	0,876		
Dirigente tecnologo	I				
Primo Tecnologo	II				
Tecnologo	III				
Dirigente II fascia					
Funzionario di amministrazione	IV				
Funzionario di amministrazione	V				
Collaboratore Tecnico	IV				
Collaboratore Tecnico	V				
Collaboratore Tecnico	VI	3	1,152	1	0,384
Collaboratore di Amministrazione	V				
Collaboratore di Amministrazione	VI				
Collaboratore di Amministrazione	VII	1	0,357		
Operatore Tecnico	VI				
Operatore Tecnico	VII				
Operatore Tecnico	VIII				
Operatore di amministrazione	VII				
Operatore di amministrazione	VIII				
<b>Totale</b>		<b>11</b>	<b>4,455</b>	<b>6</b>	<b>2,454</b>

**Tabella 29 – Reclutamento. Triennio 2019-2021 - Anno 2021**

Profilo	Livello	2021	
		Num.	P.O
Dirigente di ricerca	I		
Primo ricercatore	II		
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,244
Ricercatore	III	2	0,876
Dirigente tecnologo	I		
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,303
Primo Tecnologo	II		
Art. 15 CCNL 2002-2005		1	0,069
Tecnologo	III	1	0,460
Dirigente II fascia			
Funzionario di amministrazione	IV		
Funzionario di amministrazione	V		
Collaboratore Tecnico	IV		
Collaboratore Tecnico	V		
Collaboratore Tecnico	VI	2	1,152
Collaboratore di Amministrazione	V		
Collaboratore di Amministrazione	VI		
Collaboratore di Amministrazione	VII		
Operatore Tecnico	VI		
Operatore Tecnico	VII		
Operatore Tecnico	VIII	1	0,331
Operatore di amministrazione	VII		
Operatore di amministrazione	VIII		
<b>Totale</b>		<b>9</b>	<b>3,051</b>

Nel Piano 2019-2021 l'espansione dell'organico effettuata con la programmazione 2018 trova un'ulteriore prosecuzione nel 2019, in cui l'assorbimento complessivo di PO è pari a 10,358, dato dalla somma delle nuove assunzioni, pari a 8,78 PO, con l'assorbimento di risorse per le progressioni nei livelli ex artt. 15 e 54, rispettivamente per 0,732 e 0,846 PO. Date le cessazioni previste, pari a 2,766 PO, il 2019 mantiene un assorbimento di risorse decisamente superiore al turn-over. Turn over cui invece si riconducono le annualità 2020 e 2021, avendo raggiunto, a regime, il livello massimo sostenibile di costo del personale

La dotazione organica, risultante dalla programmazione 2019, nella sua articolazione risulta essere pari a **264** unità per **127,3902** punti organico, con un valore economico di € **16.126.070,64**. Tale valore economico porta l'indicatore di spesa dal **45,12%** ad un picco del **50,24%**, ancora abbondantemente al di sotto del limite massimo dell'80%. Nel biennio 2020-2021, il reclutamento inferiore al turn-over riduce i PO, e con essi costi e incidenza: i punti organico al termine del triennio sono pari a **126,5632**, il costo si assesta sui **16.021.382,36** euro e l'incidenza diviene pari al **49,91%**.

**Tabella 30 – Organico teorico 2019**

Profilo	Livello	Organico Teorico 31.12.2018	Posizioni su budget 2019	art.15	art.54	Cessazioni 2019	Organico Teorico 31.12.2019	Valore standard unitario	PO	Valore economico (€)
Dirigente I fascia		-					-		-	
Dirigente II fascia		2					2	1,1786	2,3572	298.393,23
Dirigente di ricerca	I	8	1				9	1	9	1.139.292,00
Primo ricercatore	II	23	1	5		-1	28	0,682	19,096	2.417.324,45
Ricercatore	III	61	12	-5			68	0,438	29,784	3.770.296,99
Dirigente tecnologo	I	2				-1	1	0,832	0,832	105.321,22
Primo tecnologo	II	10					10	0,529	5,29	669.650,52
Tecnologo	III	10	2				12	0,46	5,52	698.765,76
Collaboratore tecnico E.R.	IV	27			4		31	0,472	14,632	1.852.235,62
Collaboratore tecnico E.R.	V	12			6	-1	17	0,434	7,378	933.966,26
Collaboratore tecnico E.R.	VI	41			-10		31	0,384	11,904	1.506.903,55
Operatore tecnico	VI	8			1	-1	8	0,384	3,072	388.878,34
Operatore tecnico	VII	5			1		6	0,357	2,142	271.151,50
Operatore tecnico	VIII	5			-2		3	0,331	0,993	125.701,88
Funzionario di amministrazione	IV	3			1		4	0,472	1,888	238.998,14
Funzionario di amministrazione	V	8	1		-1	-1	7	0,434	3,038	384.574,34
Collaboratore di amministrazione	V	9			1		10	0,434	4,34	549.391,92
Collaboratore di amministrazione	VI	3			0		3	0,384	1,152	145.829,38
Collaboratore di amministrazione	VII	11			-1		10	0,357	3,57	451.919,16
Operatore di amministrazione	VII	3					3	0,357	1,071	135.575,75
Operatore di amministrazione	VIII	1					1	0,331	0,331	41.900,63
<b>Totale</b>		<b>252</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-5</b>	<b>264</b>		<b>127,3902</b>	<b>16.126.070,64</b>

Per quanto riguarda il personale a tempo determinato, come già precedentemente illustrato, al 31 dicembre 2018 si registrava la presenza di 9 posizioni a tempo determinato (1 tecnologo di terzo livello, 1 collaboratore tecnico enti di ricerca di sesto livello, 4 funzionari di amministrazione di quarto livello, e 3 collaboratori di amministrazione di settimo livello) che costituiscono elemento essenziale per la crescita e il potenziamento dell'Ente. Per il triennio 2019-2021, la previsione di un potenziamento del finanziamento da fondi europei porta a ipotizzare un aumento a 12 unità di Ricercatore o Tecnologo e 6 CTER a tempo determinato.

**Tabella 31 – Organico Teorico 2021**

Profilo	Livello	Organico Teorico 31.12.2019	Posizioni su budget 2020	2020 art.15	Posizioni su budget 2021	2021 art.15	Cessazioni 20-21	Organico Teorico 31.12.2021	Valore standard unitario	PO	Valore economico (€)
Dirigente I fascia		-						-		-	
Dirigente II fascia		2						2	1,1786	2,3572	298.393,23
Dirigente di ricerca	I	9		1			-2	8	1	8	1.012.704,00
Primo ricercatore	II	28		-1		1	-2	26	0,682	17,732	2.244.658,42
Ricercatore	III	68	4		2	-1	-1	72	0,438	31,536	3.992.079,17
Dirigente tecnologo	I	1				1		2	0,832	1,664	210.642,43
Primo tecnologo	II	10				0		10	0,529	5,29	669.650,52
Tecnologo	III	12			1	-1		12	0,46	5,52	698.765,76
Collaboratore tecnico E.R.	IV	31					-2	29	0,472	13,688	1.732.736,54
Collaboratore tecnico E.R.	V	17					-1	16	0,434	6,944	879.027,07
Collaboratore tecnico E.R.	VI	31	1		2		-1	33	0,384	12,672	1.604.123,14
Operatore tecnico	VI	8					-2	6	0,384	2,304	291.658,75
Operatore tecnico	VII	6						6	0,357	2,142	271.151,50
Operatore tecnico	VIII	3			1			4	0,331	1,324	167.602,51
Funzionario di amministrazione	IV	4						4	0,472	1,888	238.998,14
Funzionario di amministrazione	V	7						7	0,434	3,038	384.574,34
Collaboratore di amministrazione	V	10						10	0,434	4,34	549.391,92
Collaboratore di amministrazione	VI	3						3	0,384	1,152	145.829,38
Collaboratore di amministrazione	VII	10						10	0,357	3,57	451.919,16
Operatore di amministrazione	VII	3						3	0,357	1,071	135.575,75
Operatore di amministrazione	VIII	1						1	0,331	0,331	41.900,63
<b>Totale</b>		<b>264</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>-11</b>	<b>264</b>		<b>126,5632</b>	<b>16.021.382,36</b>

## 7 - LE RISORSE FINANZIARIE

Le risorse finanziarie considerate sono pari ai ricavi inseriti nel bilancio di previsione approvato dal Consiglio di Amministrazione dell'Ente, sulla base delle seguenti ipotesi:

- l'entità del fondo ordinario è calcolato sulla base delle assegnazioni 2018 o, ove differenti, come già decretato e previsti costante per il triennio;
- i ricavi commerciali da servizi metrologici sono calcolati sulla base del trend storico;
- **non** sono inseriti, invece, i ricavi legati ai progetti competitivi e alle commesse industriali.

Il mancato inserimento dei ricavi legati ai progetti competitivi e alle commesse industriali è dovuto al valore autorizzatorio del budget, che non consente l'iscrizione di valori solo presunti. I contributi sono quindi oggetto di variazioni in corso d'anno, in corrispondenza all'approvazione del finanziamento.

Pertanto, i valori di seguito indicati non sono immediatamente confrontabili con il valore complessivo dei ricavi, utilizzato per l'indicatore di sostenibilità finanziaria del costo del personale riportato nella tabella 16 del sesto capitolo. A puro scopo indicativo, si evidenzia che per il 2018 il valore dei progetti di ricerca e delle commesse industriali, contabilizzato in corrispondenza all'effettiva realizzazione delle attività finanziate, ammonta a 4,3 milioni di euro. Questo valore, indicativo, andrebbe aggiunto al totale ricavi indicato nella successiva tabella 32 per ottenere un valore maggiormente comparabile a quelli indicati nella tabella 16 del sesto capitolo.

Ciò premesso, le disponibilità sono di seguito riportate (importi in migliaia di euro al netto delle partite di giro).

**Tabella 32 – Disponibilità**

Disponibilità	Esercizio 2019	Esercizio 2020	Esercizio 2021
Contributo ordinario del MIUR	18.213.179	18.213.179	18.213.179
Assegnazione ex premialità	1.237.591	1.237.591	1.237.591
Fondo art.1 c.668 L.2015/2017 (DPCM 11/04/2018)	457.653	457.653	457.653
Contributo concorsi speciali	267.368	267.368	267.368
Contributi MIUR per progetti di ricerca e attività di ricerca a valenza internazionale	1.250.000	1.250.000	1.250.000
Entrate per prestazioni di servizi	2.000.000	2.000.000	1.900.000
Altre entrate	3.014.759	4.066.759	4.261.759
<b>TOTALE</b>	<b>26.440.550</b>	<b>27.492.550</b>	<b>27.587.550</b>

La previsione delle spese è riportata nella tabella seguente.

**Tabella 33 – Spese**

Spese	Esercizio 2019	Esercizio 2020	Esercizio 2021
Spese per il personale dipendente (TI e TD)	15.356.000	16.193.000	16.193.000
Spese di funzionamento (dirette e indirette)	9.298.300	9.513.300	9.608.300
Oneri tributari	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Trasferimenti allo Stato dovuti per legge ed altri oneri	286.250	286.250	286.250
<b>TOTALE BUDGET ECONOMICO</b>	<b>26.440.550</b>	<b>27.492.550</b>	<b>27.587.550</b>

Acquisto strumentazione e altre immobilizzazioni materiali e manutenzione straordinaria	15.474.000	4.050.000	3.440.000
<b>TOTALE BUDGET INVESTIMENTI</b>	<b>15.474.000</b>	<b>4.050.000</b>	<b>3.440.000</b>

Le spese di personale sono comprensive degli oneri, dei benefici assistenziali e sociali e dell'accantonamento ai fondi TFR e TFS. Gli oneri tributari comprendono l'IRAP.