



PIANO TRIENNALE DI ATTIVITA' 2017-2019

PARTE II: parte generale e relazione complessiva

Approvato dal CdA in data 20 luglio 2017

INDICE

Premessa.....	5
1) Stato di attuazione delle attività relative al 2016	7
2) Obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio	18
3) Quadro delle collaborazioni internazionali ed eventuali interazioni con le altre componenti della rete di ricerca e delle partecipazioni	34
4) Infrastrutture di ricerca Internazionali.....	36
5) Attività di terza missione	40
6) Capitale umano	42
7) Le risorse finanziarie.....	43

TABELLE

Tabella 1 –Pubblicazioni nel periodo 2013-2016	9
Tabella 2 – Distribuzione delle pubblicazioni 2016	9
Tabella 3 - Knowledge transfer - altri prodotti di valorizzazione applicativa	10
Tabella 4 - Knowledge transfer - formazione	10
Tabella 5 - INRIM – CMC	11
Tabella 6 - Mappatura dei settori metrologici INRIM	11
Tabella 7 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2016	17
Tabella 8 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2016	17
Tabella 9 –Progetti EMPIR in avvio nel 2017	34
Tabella 10 – Personale in servizio al 31/12/2016	42
Tabella 11 – Disponibilità	43
Tabella 12 – Spese	43

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.

1) Stato di attuazione delle attività relative al 2016

1.1 Organizzazione e gestione scientifica

La struttura scientifica dell'INRIM è costituita da tre Divisioni, con i seguenti compiti:

Metrologia Fisica - MF

La Divisione sviluppa nuove conoscenze, tecnologie e metodi per la metrologia scientifica fondamentale.

In particolare la Divisione cura:

- *la realizzazione pratica del metro, del chilogrammo e del secondo*
- *la valorizzazione delle potenzialità metrologiche dell'interferometria, dell'ottica quantistica e dei sistemi quantistici*
- *la metrologia in ambito spaziale.*

A questo fine svolge e integra attività di ricerca teorica e sperimentale e attività di sviluppo tecnologico e conduce ricerche coordinate con l'industria mirando a raggiungere un livello di maturità tecnologica pari alla validazione in laboratorio.

Metrologia per la Qualità della Vita - MQV

La Divisione sviluppa la scienza metrologica associata alla qualità della vita in relazione all'alimentazione, all'ambiente, alla salute e all'uso razionale dell'energia.

In particolare la Divisione cura:

- *la realizzazione pratica del kelvin e della mole;*
- *la metrologia biomedica a supporto delle applicazioni diagnostiche e terapeutiche,*
- *la metrologia per la sicurezza e sostenibilità alimentare,*
- *la metrologia a supporto degli studi climatici e il monitoraggio ambientale,*
- *la metrologia per lo sviluppo di sistemi energetici affidabili e sostenibili.*

In questi ambiti collabora con soggetti pubblici e privati a supporto delle necessità del Paese, per il benessere dei cittadini e la tutela dell'ambiente.

Nanoscienze e materiali - NM

La Divisione conduce ricerca di base e tecnologica nell'ambito delle nanoscienze e dei materiali, sia in relazione alla realizzazione di riferimenti metrologici, sia in risposta alle esigenze di innovazione tecnologica dell'industria e dei servizi.

In particolare, la divisione cura

- *la realizzazione pratica dell'ampere e della candela;*
- *lo sviluppo di tecnologie di preparazione di materiali, mezzi nanostrutturati e dispositivi e di tecnologie nanofotoniche;*
- *lo studio dei fenomeni fisici nella materia condensata.*

La Divisione promuove e valorizza l'originalità e le potenzialità dell'approccio metrologico alle nanoscienze ed ai materiali nelle sue relazioni con i soggetti operanti in ambito nazionale e internazionale.

Oltre alle tre Divisioni, è operativa la struttura di primo livello "Servizio Tecnico per le Attività rivolte ai Laboratori di Taratura" (STALT), con i seguenti compiti:

Servizio Tecnico per le Attività rivolte ai Laboratori di Taratura - STALT

La Struttura organizza le attività di supporto tecnico all'accreditamento di laboratori sulla base di specifiche convenzioni e nel rispetto dei requisiti della normativa nazionale e internazionale e degli organismi internazionali.

In particolare la Struttura:

- *mantiene, migliora e dissemina i campioni nazionali delle unità di misura e garantisce la qualità dei riferimenti metrologici;*
- *risponde, anche in collaborazione con le divisioni, a specifiche richieste su problemi di metrologia applicata provenienti da imprese o altri soggetti pubblici o privati;*
- *sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale;*
- *promuove e partecipa ad iniziative di presentazione e diffusione dei risultati della ricerca, delle possibili applicazioni e dei servizi rivolti all'industria e alla società;*
- *è attiva nel campo della normazione nazionale e internazionale.*

A tale fine, la Struttura sviluppa nuove tecnologie e metodi di misura d'interesse applicativo, anche mediante la ricerca a questo finalizzata, raggiungendo un livello di maturità tecnologica dei prodotti realizzati pari alla validazione nell'ambiente rilevante.

1.2 Attività e risultati di maggior rilievo conseguiti nel 2016

Nelle tabelle successive sono presentati alcuni indicatori di produzione scientifica e tecnologica al 31/12/2016.

I prodotti INRIM sono stati suddivisi nelle tre seguenti categorie:

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

Tabella 1 – Pubblicazioni nel periodo 2013-2016

Descrizione	2013	2014				2015				2016			
			<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>		<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>		<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>
Volumi	2	1	-	-	1	1	-	1	-	2	-	2	-
Articoli su riviste ISI (per 2016: IF medio ¹ = 3.06)	101	180	145	33	2	158	134	19	5	143	131	11	1
Altri articoli su riviste e capitoli di libro	19	17	11	6	-	19	9	3	7	17	13	2	2
Articoli su atti di congresso	105	114	71	31	12	90	52	34	4	108	101	6	1
Rapporti tecnici	183	110	70	31	9	107	71	32	4	40	18	17	5
Totali	410	422	297	101	24	375	266	89	20	310	263	38	9

¹IF medio 2015: 2.7; IF medio 2014: 2.2; IF medio 2013: 2.7. Si noti come, sebbene il numero dei prodotti sia diminuito rispetto agli anni precedenti, il valore dell'IF è aumentato.

La successiva Tab. 2 riporta i dettagli di ripartizione delle pubblicazioni 2016.

Tabella 2 – Distribuzione delle pubblicazioni 2016

Descrizione	MF			MQV			NM			STALT			TOT		
	<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>	<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>	<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>	<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>	<i>S</i>	<i>NMI</i>	<i>KT</i>
Volumi	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Articoli su riviste ISI con IF	33	-	-	42	7	-	47	1	-	9	3	1	131	11	1
Altri articoli e capitoli di libro	3	-	-	1	-	-	5	2	2	4	-	-	13	2	2
Articoli su atti di congresso	28	-	-	32	-	1	17	6	-	24	-	-	101	6	1
Rapporti tecnici	1	1	-	3	2	2	8	4	-	6	10	3	18	17	5
Totali	65	1	-	78	11	3	77	13	2	43	13	4	263	38	9

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

Tabella 3 - Knowledge transfer - altri prodotti di valorizzazione applicativa

Descrizione	2013	2014			2015			2016		
		S	NMI	KT	S	NMI	KT	S	NMI	KT
Contratti di ricerca attivi nell'anno	114	44	47	17	64	22	22	56	19	16
di cui nuovi	38	6	6	9	11	5	8	12	2	10
Brevetti ¹ depositati in Italia o all'estero	1	1	2	-	-	2	-			3
Estensioni di brevetto all'estero	1	-	-	2	-	-	-			-
Certificati di taratura	1.458		1.712			1.802			2.056	
Rapporti di prova	62		62			73			65	
Altri certificati e rapporti	25		21			62			94	
CMC pubblicate sul KCDB del BIPM	409		402			398			415	
Laboratori accreditati ²	164		170			174			178	
Procedure di taratura	221		235			240			245	
Documenti e procedure del Sistema Qualità	44		103			97			25	
Confronti chiave e internazionali	71		84			78			52	
On site peer review visits (di NMI stranieri)	2		2			2			3	
Progetti di strumenti, apparati o impianti	56	15	7	7	7	6	1	4	3	-
Manufatti e realizzazioni di rilievo	34	26	9	3	20	4	4	11	5	1

Tabella 4 - Knowledge transfer - formazione

Descrizione	2013	2014	2015	2016
		KT	KT	KT
Dottorati (triennali) attivati nell'anno	9	16	7	11
Tesi concluse nell'anno (dottorato)	12	8	5	8
Tesi concluse nell'anno (II livello)	11	11	14	6
Tesi concluse nell'anno (I livello)	29	10	23	15
Ricercatori stranieri presso INRIM (mesi-persona)	29	25	15	3,5
Ricercatori INRIM all'estero (mesi-persona)	13	13	3	1
Seminari INRIM di esperti interni	10	4	3	1
Seminari INRIM di esperti esterni	23	26	23	13
Corsi di formazione per esterni ed interni	14	12	11	7
Organizzazione congressi, convegni e riunioni tecniche	21	29	40	23
Altre iniziative (eventi, comunicazione)	26	92	101	130

I relativi dati analitici - con il dettaglio sui prodotti realizzati dalle Divisioni - sono riportati a parte nel fascicolo "Risultati e dati 2016".

¹ 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".

². Laboratori accreditati dal Dipartimento ACCREDIA-DT con il supporto tecnico dell'INRIM.

1.3 Collaborazioni internazionali / nazionali

L'inizio della collaborazione tra gli enti metrologici di tutto il mondo è segnato dalla **Convenzione del Metro** del 1875³. A livello internazionale, l'INRIM partecipa alle attività del CIPM (International Committee for Weights and Measures) e i relativi Consultative Committees (CC). In particolare, l'INRIM partecipa, attraverso propri rappresentanti designati, a 8 dei 10 Consultative Committees del CIPM. Nel 2016 il Direttore scientifico dell'INRIM è stato eletto nel CIPM.

In questo ambito, dal 1999 l'INRIM aderisce al *CIPM Mutual Recognition Arrangement* (MRA⁴) che, regolando il mutuo riconoscimento dei campioni nazionali e dei certificati di taratura e di misura emessi dagli NMI dei Paesi firmatari, pone le basi per l'equivalenza delle misure a livello internazionale.

L'adesione al CIPM-MRA comporta l'impiego di notevoli risorse umane, strumentali e finanziarie, per 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>), dove sono registrati i risultati dei confronti chiave e supplementari e le capacità di misura degli NMI, riconosciuti e validati internazionalmente dal CIPM. A dicembre 2016, nel database del BIPM, l'INRIM risulta aver prodotto 415 CMC (405 in fisica e 10 in chimica).

Tabella 5 - INRIM – CMC

<i>Field</i>		2012	2013	2014	2015	2016
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	209	108 ⁵	108	119	119
L	Length	42	42	43	43	42
M	Mass	108	108	98	69 ⁶	68
PR	Photometry and Radiometry	23	23	23	23	23
QM	Amount of substance	10	10	12	12	10 ⁷
T	Thermometry	61	62 ⁸	62	76	97
TF	Time and Frequency	14	14	14	14	14
Totals		509	409	402	398	415

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 6 - Mappatura dei settori metrologici INRIM

CC	Field	Sub-field	Struttura
EM	DC & Q. metrology	Josephson effect and DC voltage	NM
		Quantum Hall effect and DC resistance	NM, STALT
		Single electron tunnelling, Low DC current	NM
	Low frequency	AC/DC transfer, AC voltage and current, impedance	NM, STALT
	Radiofrequencies and Microwaves	RF power, scattering parameters, RF impedance	STALT
	Power and energy	AC power and energy	NM
		Electric and magnetic fields (incl. high voltage/high current tests)	STALT, MQV, NM

³La *Convenzione del Metro* è il trattato diplomatico internazionale che ha creato il BIPM, un organismo intergovernativo posto sotto l'autorità della Conferenza generale dei pesi e misure (CGPM) e la supervisione del CIPM. Attualmente vi sono 53 Stati Membri, tra cui tutti i maggiori paesi industrializzati, e 28 Associati alla CGPM.

⁴Il CIPM-MRA è stato finora firmato dai rappresentanti di 75 istituti - da 47 Stati Membri, 27 Associati alla Conferenza generale dei pesi e misure e 3 organizzazioni internazionali (IAEA, IRMM e WMO) - e copre altri 123 Istituti Designati come detentori di specifici campioni nazionali.

⁵ N. 3 CMC ritirate e numerosi accorpamenti di CMCs effettuati nell'Area Metrologica "*Electricity and Magnetism*"

⁶ N. 29 CMC ritirate nell'Area Metrologica *Mass* relative alla Viscosità

⁷ N. 2 CMC ritirate nell'Area Metrologica *Amount of Substance* relative a Fluidi biologici

⁸ N. 1 CMC nuova nell'Area Metrologica *Thermometry* relative al *Triple point of Argon*

		Magnetic measurements and properties	NM
M	Mass&related quant.	Mass standards	STALT
		Avogadro Constant	MF
		Density and volume	STALT
		Viscosity	STALT
		Fluid flow	STALT
		Force	STALT
		Pressure (high and low)	STALT
		Gravimetry	STALT
		Hardness	STALT
		Vibration	STALT
L	Length	Basic length	MF
		Dimensional metrology	STALT
TF	Time and Frequency	Frequency standards	MF
		Time scale	MF
PR	Photom&Radiometry	Photometry and radiometry	NM
		Quantum optics	MF
T	Temperature	Contact temperature measurements	MQV, STALT
		Non-contact temperature measurements	MQV
		Thermo-physical properties	MQV, STALT
		Humidity and moisture	STALT
AUV	Acoustics	Physical acoustics	MQV
		Acoustic and ultrasound	STALT/MQV
QM	Amount of substance	Gas analysis	MQV
		Electrochemistry	MQV
		Inorganic analysis	MQV
		Organic analysis	MQV
		Bioanalysis	MQV
		Surface analysis	MQV

A livello Europeo, l'INRIM partecipa a **EURAMET** (<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia e Organismo metrologico regionale (RMO) in ambito 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; inoltre, da maggio 2016, il Direttore Scientifico dell'ente ha assunto la carica di Vice – Presidente dell'EURAMET.

Sono a carattere continuativo la preparazione e la sottomissione del rapporto annuale sullo stato e conformità del sistema di gestione per la qualità dell'INRIM al comitato tecnico TC-Quality di EURAMET e la partecipazione al progetto EURAMET 1123 “*On site peer review*”, in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali IPQ - *Instituto Português da Qualidade* (PT) e CEM *Centro Español de Metrología* (ES).

A tal riguardo, nel dicembre 2016 l'INRIM ha sostenuto con successo la *peer-visit* annuale, condotta dagli ispettori internazionali degli altri IMN, che hanno esaminato alcune Aree Metrologiche.

L'INRIM ha inoltre contribuito con propri esperti, nei mesi di ottobre e novembre 2015, ad effettuare le *peer-visit* presso IPQ e CEM, per quanto riguarda le attività della qualità e dei laboratori di Elettricità, Acustica, Tempo e Frequenza.

Dal 2007, l'EURAMET è responsabile dell'attuazione dello *European Metrology Research Programme*, **EMRP**, programma europeo volto a facilitare una più stretta integrazione tra i programmi nazionali di ricerca metrologica attraverso la collaborazione fra gli NMI europei con l'obiettivo di accelerare l'innovazione e la competitività in Europa.

La prima fase dell'EMRP è stata formalmente avviata con la decisione congiunta del Parlamento e del Consiglio Europeo (16 settembre 2009) sulla partecipazione della Comunità (in base all'Art. 185⁹ del Trattato europeo di Lisbona) al programma EMRP intrapreso da 23 stati membri attraverso EURAMET. L'impegno complessivo su 7 anni (*commitment*) dei paesi partecipanti ammonta a 200 M€, cui l'Italia contribuisce per circa il 7% con 14 M€.

La partecipazione degli istituti metrologici a questa fase di EMRP è stata scandita da *calls* a cadenza annuale, alle quali gli enti hanno risposto attraverso la proposta di progetti di durata triennale riguardanti le tematiche proposte di volta in volta dalle *calls*.

L'INRIM ha partecipato alla prima *call*, dedicata al tema dell'Energia, con 7 Joint Research Projects (JRP), ottenendo un finanziamento UE di circa 682 k€. Questa fase si è conclusa nell'anno 2013.

Con la seconda *call*, dedicata ai temi Ambiente e Industria, l'INRIM nel 2011 ha avviato 14 nuovi progetti. Per questi JRP, 2 dei quali coordinati da ricercatori INRIM, il finanziamento UE ottenuto è stato di circa 3 M€.

La terza *call*, dedicata ai temi Salute, SI, e Nuove tecnologie, ha visto la partecipazione dell'INRIM con 15 JRP (di cui uno coordinato dall'Istituto), per un finanziamento UE di 2,2 M€ nel triennio.

Alla quarta *call* l'INRIM ha aderito attraverso 20 JRP (coordinandone 1), dedicati ai temi Industry, SI Broader scope e Open Excellence. Il finanziamento UE ottenuto dall' INRIM nel triennio è stato di circa 4 M€.

Si sono conclusi nel 2017 i JRP della quinta *call*, attinente ai temi Energy e Environment, 8 progetti (di cui 1 coordinato dall'Istituto) che hanno comportato un finanziamento UE di circa 1,4 M€.

A partire dal 2014 e fino al 2024, EURAMET ha lanciato un nuovo programma di ricerca denominato *European Metrology Programme for Innovation and Research* (EMPIR), per il quale l'INRIM, in qualità di Istituto Metrologico Nazionale, coordinerà la partecipazione italiana con università, industrie, istituti delegati. Il valore di EMPIR è 600 M€: 300 M€ da risorse nazionali e 300 M€ dall'unione europea; il 30% del cofinanziamento comunitario, 90 M€, finanzia la partecipazione di industrie, università e istituti di ricerca europei ed extra-europei. Il valore della partecipazione italiana a EMPIR è 24 M€, pari a circa il 7.6% del totale.

Gli obiettivi del programma EMPIR sono:

- 1) sviluppare conoscenze e soluzioni appropriate e integrate atte promuovere l'innovazione e la competitività;
- 2) sviluppare tecnologie di misura indirizzate alle sfide poste dai problemi energetici, della salute e dell'ambiente;
- 3) creare un sistema di ricerca integrato con adeguata massa critica e impegni a livello nazionale, europeo e internazionale;
- 4) realizzare infrastrutture metrologiche europee ove appropriato.

I dettagli sono riportati nella scheda n. 7.1 della terza parte di questo Piano Triennale.

L'INRIM ha partecipato alla prima *call* EMPIR (dedicata al tema Industry), avviando 8 progetti nel 2015 (di cui 1 coordinato da ricercatori dell'Istituto), per un finanziamento totale di circa 1,5 M€.

Alla seconda *call* EMPIR (sviluppata sui temi Health, SI Broader Scope e Research Potential) l'Istituto ha contribuito con 9 progetti avviati nel 2016, per il cui sviluppo ha ottenuto un finanziamento di 1,6 M€.

Sempre a livello europeo sono particolarmente significativi i progetti INRIM nell'ambito del *Seventh Framework Programme of the European Community for research and technological development* (FP7). Sono attualmente in corso i progetti *Controlling domain wall dynamics for functional devices* (WALL) e *Fucture Atomic Clock Technology* (ITN-FACT); si sono invece conclusi nel 2016 i progetti *Drastically Reduced Rare Earth use in Applications of Magnetocalorics* (DRREAM) e *Shape-engineered TiO2 nanoparticles for metrology of functional properties: setting design rules from material synthesis to nanostructured devices* (SETNANOMETRO).

Nell'ambito di HORIZON 2020, il nuovo Programma Quadro europeo per la ricerca e l'innovazione lanciato dalla Commissione Europea per il periodo 2014-2020, sono in corso i progetti *MSCA-ITN-2014 no. 642642* (*Smart ELECTrodeposited Alloys for environmentally sustainable applications: from advanced protective coatings to micro/nano-robotic platforms*) e *Q-SENSE* (*Quantum sensors - from the lab to the field*); si è invece concluso il progetto *Demonstrator of EGNSS services based on Time Reference Architecture* (DEMETRA).

⁹“Nell'attuazione del programma quadro pluriennale la Comunità può prevedere, d'intesa con gli Stati membri interessati, la partecipazione a programmi di ricerca e sviluppo avviati da più Stati membri, compresa la partecipazione alle strutture instaurate per l'esecuzione di detti programmi.”

Per quanto riguarda i progetti ERC della Commissione Europea, prosegue invece il progetto *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.

Un' importante collaborazione è quella con l'**ESA (European Space Agency)** e l'**Agenzia Europea per la Navigazione (GSA)**, iniziata nel 1998 come contributo per la definizione, lo sviluppo e la sperimentazione del sistema di tempo europeo **Galileo**. L'INRIM ha preso parte, come laboratorio di metrologia del tempo, a tutte le fasi sperimentali del progetto Galileo.

Il progetto *H2020 DEMETRA* (www.demetratime.eu) ha permesso di sviluppare e validare 9 servizi di timing basati sul segnale di Galileo, anche coinvolgendo possibili utenti come il distretto finanziario di Milano, la RAI e Mediaset, diversi istituti di Metrologia europei, industrie e agenzie spaziali europee.

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 proseguita la collaborazione nella *Galileo Time Validation Facility* che mantiene la sincronizzazione tra la scala di tempo di Galileo e UTC.

Consorzi e Convenzioni con Ministeri, Regioni, Università e altri enti nazionali e internazionali

L'INRIM ha partecipato 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.

Nel 2016 erano inoltre attive numerose associazioni con organismi internazionali, qui di seguito elencati:

- College International pour la recherche en productique (CIRP);
- The European Telecommunications Standards institute (ETSI);
- Eurachem;
- European Society for Precision Engineering and Nanotechnology.

e con organismi nazionali

- Associazione Italiana di Acustica (AIA);
- Associazione Italiana Controllo Qualità (AICQ);
- Polo di Innovazione "Biotecnologie e Biomedicale" (BIOPMED) della Regione Piemonte;
- Istituto marchio Qualità (IMQ);
- Polo di Innovazione "Meccatronica e Sistemi Avanzati di Produzione" (MESAP) della Regione Piemonte;
- Società Italiana di Fisica (SIF);
- Unimet.

Nel 2016 l'INRIM ha stipulato le seguenti nuove associazioni:

- Clever – Clean (Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante nell'ambito tecnologico-applicativo per la protezione ambientale);
- Cooperation in International Traceability of Analytical Chemistry (CITAC);
- International Measurement Confederation (IMEKO).

L'INRIM collabora da lungo tempo con altri importanti organismi nazionali ed europei 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.

Anche nel 2016 l'INRIM ha confermato 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. Il Consorzio TOP-IX è attivo su diversi fronti: dalla gestione delle

infrastrutture per Internet Exchange (ragione per cui è stato costituito), al Development Program, con cui dal 2006 fornisce sostegno a progetti di innovazione tecnologica, fino alla piattaforma di Streaming.

E' proseguita l'adesione a **FLUXONICS** - The European Foundry for Superconductive Electronics, network europeo di enti di ricerca e università (tra gli altri, il PTB, l'Università di Twente in Olanda, l'Università di Jena in Germania) che opera nell'ambito della realizzazione di circuiti superconduttivi per applicazioni elettroniche dalla metrologia al calcolo quantistico.

L'INRIM ha 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.

Nell'ambito della terza missione dell'Istituto, 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.

Nel 2016 sono state attive 47 convenzioni con altri Istituti e Università, nazionali e internazionali, 8 delle quali, descritte più in dettaglio qui di seguito, sono state stipulate nell'anno.

Particolarmente significative sono le convenzioni internazionali stipulate con l'Institut za mjeriteljstvo Bosne i Hercegovine (IMBIH) – Bosnia (memorandum of Understanding per regolare rapporti di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico e, specificamente, al fine di formare i metrologi bosniaci) e il Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) – Parigi (accordo di collaborazione nel campo della metrologia dei fluidi al fine di costituire una struttura scientifica e un gruppo di ricerca comuni all'LNE e all'INRIM denominati "Laboratorio di Ricerca Congiunto di Metrologia dei Fluidi Evangelista Torricelli").

In ambito nazionale sono invece stati stipulati accordi con:

- Agenzia Spaziale Italiana (ASI) – Roma: convenzione quadro di collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e nella formazione professionale su tematiche di comune interesse;
- Fondazione ISI – Torino: convenzione quadro di collaborazione nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche e industriali e della formazione su tematiche di comune interesse;
- Società italiana di Fisica (SIF) – Bologna: convenzione operativa per l'organizzazione della scuola estiva di Varenna sulla Metrologia e le Costanti fondamentali, che si terrà a Varenna (LC) dal 26 giugno al 6 luglio 2016;
- Enea – Roma: accordo di collaborazione per lo svolgimento di attività di ricerca e sviluppo nel settore delle infrastrutture di ricerca per Health & Food da effettuarsi collegialmente attraverso una Joint Research Unit (JRU) comune nazionale denominata METROFOOD-IT;
- Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale" (CCR): convenzione di collaborazione scientifica nel campo dei beni culturali per misure iperspettrali su dipinti e sarcofagi;
- Università degli Studi di Trento, Pavia e Milano: convenzione quadro di collaborazione nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche e industriali e della formazione su tematiche di comune interesse.

Per quanto riguarda la promozione della divulgazione scientifica, l'INRIM ha aderito all'**Associazione Festival della Scienza**: l'associazione nasce con l'obiettivo di avvicinare il pubblico ai grandi temi della scienza e della tecnologia, e ha come mission quella di promuovere, valorizzare e divulgare la cultura scientifica e tecnologica; il suo primo esperimento nel campo della comunicazione, produzione e promozione di eventi di divulgazione scientifica di rilievo internazionale è stato il Festival della Scienza, organizzato nel 2014 a Genova e riproposto per il 2015; l'associazione è aperta a nuove iniziative e disponibile ad avviare collaborazioni con realtà pubbliche e private che condividano la stessa passione per la scienza, ed è proprio in quest'ottica che l'INRIM, a partire dal 2014, ha aderito ad essa e ha delegato un proprio rappresentante quale membro del Consiglio di Amministrazione dell'organismo genovese.

Altri contratti finanziati nel 2016

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MIUR, nel 2016 è proseguito il progetto SIR "ULTRACOLD PLUS" (*Ultracold atoms plus ions: new frontiers in hybrid quantum systems*), mentre è stato avviato il progetto PRIN "HG DOPPLER SPECTROSCOPY" (*A new primary method of gas thermometry based upon Doppler-broadened mercury spectroscopy in the UV region*) con un finanziamento di 163 K€.

La Fondazione CRT ha invece finanziato, a partire dal 2016, il progetto STEMMREF (*Materiali di riferimento per migliorare l'affidabilità delle terapie cellulari*).

In ambito industriale sono stati avviati 7 progetti, tra cui spicca, per il finanziamento di 300 K€, il progetto "RUBIDIUM POP ATOMIC CLOCK - Physics package" commissionato da ESA LEONARDO SPA; il totale dei finanziamenti ottenuti in ambito industriale è pari a 655 K€ circa.

Fondi premiali da MIUR per progetti di ricerca

Di particolare importanza sono i Fondi Premiali assegnati annualmente dal MIUR su progetti di ricerca selezionati per merito. Il MIUR, infatti, attraverso risorse accantonate sul Fondo Ordinario, promuove e sostiene l'incremento qualitativo dell'attività scientifica nell'ambito di una politica orientata a migliorare l'efficacia e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse.

Sono proseguiti nel 2016 i seguenti progetti che il MIUR ha finanziato, insieme ad altri finanziati solo per il primo anno, per un valore totale di k€ 4.339,111:

- Progetto n. 2: Metrologia dei parametri ambientali
- Progetto n. 5: Oltre i limiti classici di misura

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;
- 2.679,098 k€ destinati al finanziamento di specifici progetti di ricerca, anche in collaborazione con altri enti.

I progetti, finanziati e avviati nel 2016, di cui l'INRIM è coordinatore sono i seguenti:

- Metrologia di tempo e frequenza in fibra ottica per la geodesia e lo spazio (MeTGeSp)
- Intermodal secure quantum communication on ground and space (Q-SecGroundSpace)

L'INRIM ha potuto usufruire, complessivamente per i due progetti, di un finanziamento di k€ 1.140 circa; il resto della cifra disponibile è stata trasferita ai partner (INAF, ASI e CNR).

L'INRIM partecipa anche, in qualità di partner, ai seguenti progetti avviati nel 2017:

- Laboratorio multidisciplinare del Mediterraneo (LABMED) (progetto INFN)
- Materiali innovativi e tecnologie efficienti per le energie rinnovabili (MATER) (progetto CNR)
- CIBO E SALUTE (progetto CNR)

Per la partecipazione a questi progetti l'Istituto ha ricevuto dall'INFN e dal CNR un finanziamento complessivo pari a k€ 518 circa.

Nel 2016 sono stati ulteriormente sviluppati i **Progetti Strategici** descritti di seguito, 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; questa quota, ricevuta come fondo premiale 2013 indiviso, è stata in parte destinata anche al finanziamento delle seguenti attività (come da delibere del Consiglio di Amministrazione del 21 aprile 2015 e del 25 maggio 2015):

- Progetti Premiali già finanziati in precedenza;
- progetti da sviluppare nell'ambito della costituzione di Joint Research Lab. (JRL);

- Dottorato europeo in metrologia;
- servizi alla ricerca.

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.

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 dei nuovi **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 i seguenti progetti SEED, selezionati all'interno di una vasta rosa di proposte, per i quali sono stati stanziati nel complesso k€ 200:

- GeCum
- Test of a low pressure standard based on a superconducting microwave cavity
- Interference-based charge qubit for quantum metrology and sensing (IBC QuBit)
- Mise en pratique of an opto-acoustic primary calibration method for MEMS microphones

1.4 Finanziamenti su programmi di ricerca

Le tabelle seguenti riassumono i dati relativi ai progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2016, distinguendoli per tipologia. Vengono riportati la quantità e il valore del cofinanziamento in riferimento all'intera durata del contratto.

La tabella 7 riporta la quota di **cofinanziamento** ottenuta dall'INRIM sui **programmi europei**.

Tabella 7 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2016

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale	
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.	(k€)
Euramet (UE)	9	1.661	37	7.068	46	8.729
FP7, H2020, ERC (UE)	1	27	8	4.125	9	4.152
Altri internazionali	3	116	4	478	7	594
Totale	13	1.804	49	11.671	62	13.475

La tabella 8 riporta la quota di **cofinanziamento/finanziamento** ottenuta dall'INRIM sui **programmi nazionali e industriali**.

Tabella 8 – Progetti su contratto avviati e ancora in corso nel 2016

Tipologia	Progetti avviati		Progetti in corso		Totale	
	No.	(k€)	No.	(k€)	No.	(k€)
Nazionali (inclusi MIUR e fondazioni)	2	212	8	1.176	10	1.388
Industriali	7	584	4	70	11	654
Totale	9	796	12	1.246	21	2.042

2) Obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio

L'INRIM organizza gli obiettivi generali e strategici delle sue attività di ricerca per il triennio 2017-2019 secondo le linee individuate nell'ambito della programmazione comunitaria rappresentata da *European R&D Framework Programme Horizon 2020*.

Le quattro Linee Prioritarie individuate in Horizon 2020, *Excellent Science*, *Industrial Leadership*, *Societal Challenges* and *Key & Enabling Technologies*, trovano corrispondenza nei quattro Obiettivi Generali individuati da EMPIR, definiti nel presente piano di attività triennale come *Excellent science: developing basic scientific metrology*, *Industrial leadership: addressing the innovation gap*, *Meeting the societal challenges* e *Key & Enabling Technologies*. L'INRIM ha individuato oltre alle linee precedenti una quinta linea prioritaria, comune a tutte le strutture, che raccoglie i principali obiettivi strategici legati al ruolo di istituto metrologico nazionale.

Con riferimento a questi Obiettivi Generali, l'INRIM individua i propri obiettivi strategici in accordo con lo schema di seguito riportato. Nel grafico sono riportati i quattro principali pilastri già descritti, secondo i quali si sviluppano le attività delle tre Divisioni e della struttura di primo livello STALT in cui è organizzato l'Istituto dal punto di vista operativo.



Ruolo di Istituto Metrologico Nazionale (NMI)

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).

Mantenimento e disseminazione delle unità SI

Vengono mantenute ed incrementate le CMC; ad oggi INRIM possiede oltre 400 CMC, tutte di altissimo livello. Al fine di mantenere ai massimi livelli la riferibilità internazionale delle misure sono attivi oltre 40 confronti chiave internazionali del CIPM e dell'EURAMET con i laboratori metrologici nazionali degli altri Paesi.

INRIM contribuisce alla disseminazione delle unità SI e ad assicurare riferibilità ai campioni con la propria attività di taratura, misura e prova. L'attività di taratura e prova rivolta all'industria viene dettagliata nella Scheda 8. La presente scheda descrive l'attività istituzionale propria dell'INRIM, quale istituto metrologico primario, per garantire la riferibilità delle misure di competenza.

INRIM si occupa, inoltre, dello sviluppo della disseminazione in modo da soddisfare la richiesta di riferibilità in nuovi campi della scienza e tecnologia e quelle che scaturiscono dai laboratori di taratura, dal mondo industriale, dalle PPAA.

Per il triennio 2017-2019

Metrologia delle grandezze meccaniche. Nel campo della metrologia dimensionale si intende sviluppare un interferometro “double-ended” per la taratura dei blocchetti pianparalleli corti; si realizzerà inoltre un campione per la taratura di encoder angolari. Nella metrologia a coordinate, sono di largo interesse due tipi di campioni: i blocchetti di riscontro pianparalleli lunghi e i calibri a passi. Il miglioramento delle accuratèze dichiarate per i blocchetti di riscontro collocherà l'INRIM tra gli NMI più avanzati in questo campo. Per i calibri a passi, il campo di misura sarà esteso fino a 1020 mm per il significativo interesse delle CMM. Nel triennio si prevede di sviluppare due nuovi campioni d'angolo con un'incertezza dell'ordine di 50 nrad e partecipare ad un confronto di misura mediante un poligono ottico e un encoder angolare. Verrà consolidata la competenza nel settore degli ingranaggi e delle geometrie complesse anche attraverso la partecipazione ad un confronto per l'estensione delle capacità di misura ai campioni ad evolvente ed elica. Miglioramento delle caratteristiche, e quindi delle CMC, delle bilance di pressione che operano in mezzo liquido e del campione ad espansione statica. Partecipazione a confronti in differenti intervalli tra cui pressioni negative. Lo studio e la caratterizzazione metrologica di un nuovo sistema a build-up multicomponente permetterà di estendere la riferibilità della scala di forza fino a 5 MN. L'estensione della scala della forza fino a 5 MN permetterà la disseminazione a livello industriale delle misure di forza effettuate con macchine uniassiali di alta portata. E' in fase di progettazione un sistema di taratura di sismometri e di accelerometri in condizioni di impatto (shock): il sistema può generare livelli di shock tra 20 G e 10000 G e, a seconda della durata dell'impulso dell'impatto (nell'ordine dei millisecondi), è possibile effettuare tarature in un campo di frequenze comprese tra 5 Hz e 20 kHz.

Metrologia delle grandezze elettromagnetiche. Nel campo delle correnti alternate sarà esteso il limite superiore di misura fino a 20 A, con una migliore incertezza e sarà proposta una nuova CMC. Verrà effettuato uno studio per l'estensione in frequenza (fino a 400 kHz) delle capacità di generazione di campi magnetici di riferimento per la taratura dei misuratori di campi magnetici ambientali. Saranno dichiarate nuove CMC per la taratura di picoamperometri con metodo resistenza-tensione. Estensione delle capacità di misura dei Parametri S nel campo di frequenza a partire da 9 kHz e nuovi campioni elettrici di riferimento dei parametri di *scattering*. Mantenimento delle capacità di misura riconosciute in ambito MRA ed estensione a nuovi settori di misura di interesse per le prove di compatibilità elettromagnetica. Nel campo delle alte tensioni e forti correnti si prevede l'estensione della CMC all'attività on-site per le forti correnti transitorie mediante lo sviluppo di un sistema di misura utilizzabile in campo e la realizzazione di un sistema di taratura di catene di misura per forti correnti stazionarie e prove di sovratemperatura per soddisfare le richieste di taratura di apparecchiature prodotte dall'industria nazionale.

Grandezze fotometriche e radiometriche. Le CMC vengono supportate dai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR; in particolare nel triennio sono previsti confronti di misura (in ambito EURAMET) per i filtri neutri e sensibilità spettrale (INRIM copilota insieme a CMI). Per quanto riguarda il regime di conteggio di fotoni 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 procedure di misura, a partire dal radiometro criogenico (100 μ W) a scendere (-100 dB) al regime di singolo fotone.

Metrologia del tempo e della frequenza. Mantiene e dissemina le unità di tempo e frequenza al miglior livello di accuratezza possibile. Verranno sviluppati servizi basati su ricevitori GPS/Galileo quali procedure di taratura assoluta, la certificazione in tempo reale in data streaming, stime geodetiche Precise Point Positioning, la predizione del offset del suo orologio ricevente e delle correzioni di steering da applicare per contenerlo.

Metrologia delle grandezze termiche. Le principali attività previste riguardano il miglioramento della ITS-90 dal campo criogenico fino al punto dell'Ag (961.78 °C); lo sviluppo di tecniche di termometria a radiazione per la determinazione di T oltre il punto dell'Ag; l'utilizzo di punti fissi eutettici ad alta temperatura per la realizzazione di scale termodinamiche per interpolazione; lo sviluppo di campioni e metodi di riferimento per la misura dell'umidità nei mezzi solidi, liquidi e porosi e l'estensione della scala di temperatura di rugiada/brina fino a -100 °C (frazione molare <25 ppbv) a pressione sub-atmosferica e oltre 100 °C a pressione super-atmosferica. Verrà completato lo sviluppo del campione nazionale di energia termica per il campo da 200 W a 3 MW. Per quanto riguarda la metrologia acustica, INRIM realizzerà il campione primario di pressione acustica con un'incertezza associata pari a 0,5 dB nel campo di frequenza tra 50 Hz e 10 kHz. Verranno messi a punto nuovi sistemi di taratura per termocoppie ad alta temperatura con l'impiego di punti fissi eutettici e proposte nuove CMC per coprire le esigenze provenienti dai laboratori del Sistema nazionale di taratura (in linea con ILAC-P10 a supporto dei laboratori accreditati). E' prevista la partecipazione ad un confronto supplementare di termocoppie (EURAMET T-S3). Verrà completato il confronto del campione di temperatura superficiale con l'estensione fino a 500 °C e la proposta della relativa CMC. Verranno infine caratterizzate le sorgenti sonore aerodinamiche secondarie; verranno accuratamente valutati gli effetti delle caratteristiche direzionali attraverso il confronto inter-laboratorio che coinvolgerà istituti metrologici europei.

Metrologia per la chimica e la biologia. E' prevista la partecipazione a confronti internazionali organizzati da CCQM ed Euramet, in particolare: (i) confronto chiave CCQM, di cui INRIM sarà capofila, per la misura del numero di cellule e dell'area occupata da cellule in coltura su substrati solidi, (ii) CCQM P184, per la determinazione della concentrazione del numero di copie di DNA mutato (biomarker tumorale) in una miscela di DNA mutato e sano; (iii) CCQM-K131 sulla determinazione di microinquinanti organici in soluzione. Verranno proposti e supportati studi internazionali per la diagnosi di malattie neurodegenerative basate sull'analisi ddPCR di microRNA e sull'analisi per attivazione neutronica di elementi caratterizzanti di proteine. Partecipazione al working group del CCQM sull'analisi delle proteine (PAWG), con lo scopo di studiare l'applicabilità di tecniche spettroscopiche (IR e Raman) ed elettrochimiche e della Neutron Activation Analysis per la misurazione qualitativa e/o quantitativa di proteine nei cibi o nella filiera alimentare. In ambito del Surface analysis WG del CCQM, INRIM contribuirà alle attività per la standardizzazione metrologica della spettroscopia Raman. Proseguirà l'attività sull'impiego di tecniche elettrochimiche selettive per la determinazione del contenuto di acqua in materiali solidi in condizioni di riferibilità metrologica. Verranno messi in atto, in ambito VAMAS, ISO e CEN, politiche per lo sfruttamento delle nanoparticelle di TiO₂ e procedure operative standard (SOP) prodotte nel progetto SETNanoMetro.

Procedure di taratura e prova. Proseguirà lo sforzo complessivo dell'ente per la revisione e la redazione di nuove procedure di taratura, in accordo con il Sistema qualità, secondo la norma ISO/IEC 17025:2005. L'attività di prova, e le relative procedure, verranno ulteriormente sviluppate in virtù della crescente fiducia che le aziende verso l'istituto, come *tertium comparationis*, sebbene INRIM non sia accreditato secondo la ISO 17043 (ad es. nelle prove acustiche, alle alte tensioni e forti correnti). Verranno realizzati campioni di lavoro e trasportabili per la riferibilità ai campioni nazionali di grandezze di interesse climatologico e ambientale.

INRIM contribuisce sia all'attività di riferibilità che a quella vera e propria di misura e prova. Mentre l'attività di taratura rivolta all'industria viene dettagliata nella scheda 8, si descrive qui l'attività istituzionale propria dell'INRIM, quale istituto metrologico primario, per garantire la riferibilità delle misure di competenza.

Inoltre si occupa dello sviluppo della disseminazione in modo da soddisfare le nuove richieste di riferibilità che scaturiscono da progetti dell'INRIM, dai laboratori di taratura e dal mondo scientifico e industriale.

Excellent science - Metrologia Fisica

Sviluppa conoscenze, tecnologie e metodi per la metrologia scientifica fondamentale. In particolare cura:

- la realizzazione pratica del metro, del chilogrammo e del secondo;
- la valorizzazione delle potenzialità metrologiche dell'interferometria, dell'ottica quantistica e dei sistemi quantistici;
- la metrologia in ambito spaziale.

A questo fine svolge e integra attività di ricerca teorica e sperimentale e attività di sviluppo tecnologico e conduce ricerche coordinate con l'industria mirando a raggiungere un livello di maturità tecnologica pari alla validazione in laboratorio.

Interferometria e Metrologia Meccanica

Realizzazione del metro e interferometria ottica e X – Il metro è realizzato e riferito alle unità SI a partire da frequenze note e tarate mediante pettini di frequenza, laser stabilizzati e transizioni atomiche. Proseguirà lo sviluppo di tecnologie ottiche, optomeccaniche e elettroottiche per la misurazione di distanze, spostamenti, angoli e rotazioni con risoluzioni limite del picometro e del nanoradiante. L'attività di ricerca si estende dalla determinazione del parametro reticolare di cristalli di silicio, alla misura e controllo di spostamenti alla scala delle dimensioni atomiche, alla metrologia dimensionale e angolare, all'interferometria assoluta per la misura di lunga distanza, alla rifrattometria.

Realizzazione del kilogrammo – Per la metrologia della massa si collaborerà con il PTB alla realizzazione del kilogrammo mediante la misura dimensionale della distanza interatomica del silicio e la verifica di purezza chimica con metodi di attivazione neutronica. Verrà verificata la perfezione strutturale e misurato (mediante interferometria X/ottica) il passo reticolare delle sfere. Proseguirà lo studio sperimentale degli effetti dello stress superficiale. In collaborazione con la divisione qualità della vita, detti cristalli verranno caratterizzati (mediante attivazione neutronica) in termini di purezza e frazione molare dell'isotopo ^{30}Si . Proseguirà lo studio sperimentale (collaborazione con F Spaepen, università di Harvard, e divisione qualità della vita) delle vacanze e voids nei cristalli attraverso la diffusione di rame e la quantificazione dei precipitati mediante attivazione neutronica. In relazione alla futura ridefinizione e alla riferibilità alle future unità SI, evidenziando che il CCM ha espresso parere favorevole alla ridefinizione dell'unità di massa, saranno avviate ricerche per valutare la realizzazione del kilogrammo attraverso una bilancia del watt di nuova concezione per la disseminazione di masse inferiori al grammo. I processi in atto e l'obsolescenza delle attuali strutture richiedono di aggiornare i laboratori operanti nell'ambito del futuro kg per mantenere la leadership internazionale nella misurazione del parametro reticolare e la possibilità di espandere le capacità di misura dotandosi di un comparatore di reticolo.

Metodi matematici per la metrologia – Verranno messi a punto modelli numerici per l'analisi agli elementi finiti (ambiente COMSOL multiphysics) del comportamento elastico e termo-elastico di sfere di silicio e interferometri X per la realizzazione del kilogrammo. In collaborazione con l'università di Cagliari, proseguirà il calcolo ab-initio (density functional theory) dello stress superficiale di cristalli di silicio. Verranno sviluppati metodi di geometria differenziale (information geometry) per la valutazione del contributo dei modelli interpretativi dei dati all'incertezza di stima. Proseguirà lo sviluppo di modelli matematici per l'analisi dell'accuratezza e della diffrazione nell'interferometria ottica.

Metrologia in ambito spaziale – Saranno sviluppate tecnologie, metodi e strumenti per la metrologia dimensionale di missioni scientifiche nello spazio (missioni gravimetriche di nuova generazione). In particolare, saranno sviluppati interferometri assoluti e incrementali per medie e grandi distanze – capaci di incertezze di 1 nm su distanze di 10 km – e sensori ottici e interferometrici per accelerometri di navigazione satellitare. In collaborazione con Leonardo-Finmeccanica sarà realizzato un prototipo industriale di una camera iperspettrale per applicazioni dall'osservazione della Terra dallo spazio, ai beni culturali, alla rivelazione remota di inquinanti in atmosfera.

Metrologia di tempo e frequenza

Realizzazione del secondo – Il secondo è realizzato mediante un insieme di orologi atomici commerciali (Maser-H e fasci di Cs) la cui frequenza assoluta viene misurata mediante il campione primario di frequenza ITCsF2: un campione a fontana di cesio che opera in regime di criogenia. Il programma collabora stabilmente con il BIPM per la generazione della scala di tempo universale coordinato (UTC). Conduce ricerche volte al miglioramento dell'accuratezza dei campioni primari, allo sviluppo delle tecniche di sincronizzazione e di disseminazione dei segnali di tempo e frequenza campione, affiancando alle tradizionali tecniche satellitari le nuove tecnologie di sincronizzazione in fibra ottica e via internet.

Campioni atomici di frequenza – Dopo aver completata la caratterizzazione del primo campione ottico all'itterbio, ed averne compiuta la misura assoluta di frequenza rispetto alla fontana di cesio, è iniziata la realizzazione di un secondo campione all'itterbio migliorandone stabilità ed accuratezza, anche mediante la realizzazione di una nuova camera da vuoto per il controllo della radiazione di corpo nero. Verrà inoltre realizzato un nuovo campione ottico che utilizza atomi di Sr, volto sia ad impieghi prettamente metrologici che a sperimentazioni di tecniche quantistiche per la riduzione del rumore (squeezing a QND measurements).

I campioni atomici di frequenza (in virtù delle predizioni della relatività generale) sono anche sensori del potenziale gravitazionale e saranno utilizzati per esperimenti di geodesia relativistica. Un'altra applicazione sarà la verifica della stabilità di costanti fondamentali, laddove la misura ripetuta nel tempo del rapporto di frequenza tra transizioni di specie atomiche diverse ne verifica la stabilità. A tal fine si propone di confrontare la frequenza della fontana di cesio con quella dell'itterbio e con quella di transizioni molecolari in campioni raffreddati. Quale contributo allo studio della materia ultra-fredda, verrà inoltre curata la disseminazione di portanti ottiche ultra-stabili e accurate in frequenza verso laboratori nazionali selezionati.

Secondo alcuni studi, una transizione nucleare del ^{299}Th potrebbe essere utilizzata come standard di frequenza ad altissima accuratezza. Seppure non sia ancora stata osservata, valutazioni teoriche la stimano nel vicino ultravioletto, una regione spettrale che pone interessanti problemi metrologici non ancora risolti. Si continuerà quindi l'attività di ricerca per la realizzazione e la stabilizzazione di sorgenti laser in questa regione spettrale.

Le competenze sviluppate per lo sviluppo di algoritmi per la scala di tempo trovano applicazioni sia nella rilevazioni di anomalie degli orologi a bordo di satelliti (contribuendo alla definizione del servizio di integrità del sistema Galileo), sia nello sviluppo di metodi di confronto di scale di tempo via satellite utilizzando multi sistemi GNSS e tecniche di geodesia come il Precise Point Positioning o TWSTFT a banda larga.

Orologio a pompaggio ottico impulsato – La ricerca ha un ruolo fondamentale nel garantire competitività al sistema produttivo del paese. Pertanto, viene perseguito e programmato il trasferimento delle conoscenze per lo sviluppo di orologi alle realtà industriali del paese: il programma collabora con Leonardo-Finmeccanica allo sviluppo industriale di un prototipo ingegnerizzato (per applicazioni spaziali) di orologio a pompaggio ottico impulsato basato su atomi di rubidio. L'attività applica i risultati di una ricerca decennale svolta presso INRIM sui campioni in cella.

Metrologia del tempo e della frequenza – Opera e migliora progressivamente un campione primario di frequenza (ITFCs2) a fontana di Cs, operante in regime criogenico e capace di un'accuratezza relativa di frequenza pari a $1.7\text{E}-16$. Sviluppa algoritmi per realizzare e distribuire la scala di tempo nazionale, utilizzando il campione primario ITFCs2, 4 Maser-H e 5 fasci di Cs commerciali. Il campione primario di frequenza ITCsF2 continuerà a partecipare alla rete di taratura dell'International Atomic Time. Si intende migliorare la stabilità del campione realizzando un nuovo sistema ottico e una nuova sorgente a microonda a bassissimo rumore di fase. La scala di tempo universale coordinata italiana UTC(IT) verrà migliorata mediante tripla ridondanza e l'utilizzo parallelo del campione primario di frequenza ITFCs2. La scala sarà distribuita mediante servizi innovativi sviluppati nell'ambito progetto Demetra (v. Galileo Timing Research Infrastructure). Utilizzando nuovi sistemi di sincronizzazione verrà realizzata una scala di tempo diffusa mediante orologi di precisione sul distribuiti sul territorio nazionale e sincronizzati in tempo reale rispetto ai riferimenti assoluti in INRIM. Verranno realizzati ulteriori servizi di disseminazione attraverso la trasmissione via Network Time Protocol certificato, fibra ottica, satellite geostazionario e trasmissione TDMA.

Riferibilità alle unità SI – La riferibilità della datazione degli eventi e del valore assoluto di frequenza viene garantita attraverso il continuo confronto della scala di tempo nazionale UTC(IT) alla scala di tempo internazionale UTC, dato che viene fornito mensilmente dal BIPM. La conoscenza in tempo reale invece è necessariamente più approssimata e viene stimata mediante algoritmi predittivi e l'utilizzo del campione primario di frequenza. La certificazione e la datazione remota di eventi avviene mediante tecniche satellitari e ITC, di particolare rilevanza è in questo ambito la sperimentazione condotta per la datazione delle transazioni finanziarie che continuerà nei prossimi anni, fino alla definizione di servizi commerciali veri e propri..

Sistemi quantistici – Verrà realizzato un sistema ibrido composto da ioni intrappolati e atomi neutri ultrafreddi, che separatamente già realizzano i migliori orologi disponibili (l'orologio atomico con atomi neutri di stronzio e quello con un singolo ione intrappolato di alluminio). Lo scopo è realizzare una delle prime macchine al mondo in cui gli atomi neutri ultrafreddi e gli ioni intrappolati "vivono" nello stesso apparato sperimentale. Le motivazioni sono molteplici: da un lato costruire sistemi quantistici con un maggiore livello di controllo per studiare fenomeni fisici quali la creazione controllata di composti molecolari e la dinamica di sistemi quantistici fuori dall'equilibrio. Dall'altro costruire una nuova base per le tecnologie quantistiche, quali il calcolo e la metrologia atomica. Per eliminare il micromoto degli ioni (la sorgente maggiore di incertezza

nella realizzazione di orologi basati su ioni intrappolati) si intende sviluppare una trappola innovativa basata su potenziali elettrici statici e di potenziali ottici.

Navigazione satellitare – Vedere infrastruttura “Galileo Timing Research Infrastructure”.

Distribuzione in fibra ottica – Vedere infrastruttura “LIFT – link italiano tempo e frequenza”.

Ottica quantistica

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 di quantum, ghost e sub-shot-noise imaging quantistico a livello microscopico. 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 o stati squeezed.

Generazione e applicazione di stati ottici entangled – Stati ottici entangled verranno utilizzati per 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.

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. Proseguirà la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di uno standard europeo per la crittografia quantistica. Saranno studiati metodi quali la tomografia quantistica (di stati, canali e misuratori a valori operatoriali positivi), la quantificazione dell'entanglement (e misure di correlazioni quantistiche).

Societal challenges - Metrologia per la Qualità della Vita

L'attività di ricerca si sviluppa in linea con i programmi di ricerca europei per la metrologia rivolti alle cosiddette “Societal Challenges” indicati nella *Strategic Research Agenda* di EURAMET (2015), con particolare riferimento allo sviluppo della scienza metrologica in relazione alle applicazioni scientifiche, industriali e sociali nei campi della salute, dell'uso razionale dell'energia, dell'ambiente e dell'alimentazione. Nel corso del triennio sono programmate ricerche relative alla salute, con riferimento alla metrologia biomedica e alla metrologia per la sicurezza e sostenibilità alimentare, e ricerche riguardanti la metrologia per lo sviluppo di sistemi energetici affidabili e sostenibili e il monitoraggio ambientale.

L'INRIM, nell'ambito delle attività di ricerca sulla metrologia per la qualità della vita, partecipa a MATHMET, il Centro Europeo per la Matematica e la Statistica in Metrologia (<http://mathmet.org/>), che ha lo scopo di costituire un punto di incontro per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia.

Metrologia Biomedica

L'attività è rivolta a fornire il supporto metrologico nell'ambito della fisica medica e delle scienze biomediche e biologiche, sia sul piano delle tecniche di misura riferibili, sia su quello delle metodologie ausiliarie. In questo contesto vengono inoltre sviluppati metodi matematici e modelli numerici avanzati a integrazione e supporto delle indagini sperimentali.

Per quanto riguarda le applicazioni degli ultrasuoni in biomedicina, diverse sono le attività attualmente in corso. Le competenze acquisite nella realizzazione di “phantom” e materiali simulatori tissutali, modulabili nelle loro proprietà acustiche, meccaniche e termiche, rappresentano la base attraverso cui proseguiranno gli studi legati all'imaging diagnostico quantitativo ad ultrasuoni. Prosegue la collaborazione con gruppi di ricerca impegnati in sperimentazioni, in-vitro ed in-vivo, che prevedono l'impiego ultrasuoni e farmaci di nuova generazione nell'ambito della ricerca contro il cancro. Attraverso opportuna modulazione temporale del segnale ultrasonoro si intende esaltare gli aspetti meccanici correlati ai meccanismi di cavitazione e, fortemente coinvolti nei fenomeni cellulari sotto indagine. La collaborazione prevede diversi aspetti: dalla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione (nella gamma di frequenze 1 MHz – 3 MHz) basati su trasduttori ad onda piana; alla realizzazione di phantom dedicati per la sperimentazione in vitro e/o in vivo fino al monitoraggio dei meccanismi radicalici indotti dalla cavitazione acustica, attraverso misure

acustiche e spettrofotometriche. In ambito biomedicale prosegue, infine, la collaborazione con gruppi di ricerca per l'utilizzo di nanodroplets a base di perfluorocarburi per il rilascio prolungato, o indotto da ultrasuoni, di farmaci e/o ossigeno per terapie antibatteriche o correlate al "wound healing".

Un secondo ambito riguarderà la Metrologia in biologia per la medicina di laboratorio volta allo sviluppo di nuovi metodi quantitativi per la misura di *biomarker* indicatori di proprietà di sistemi biologici. La ricerca sarà volta all'applicazione di tali metodi (a) per il controllo dei processi e dei prodotti nelle **terapie avanzate**, e (b) per la diagnostica e il monitoraggio nella **medicina di precisione**. Nella tematica (a) si svilupperanno metodologie non-invasive di investigazione dell'influenza di specifiche nanoparticelle sulle funzioni e sui comportamenti di cellule staminali in cell therapies (progetto StemMRef); gli stessi metodi, combinati con la quantificazione di elementi in traccia mediante analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA), saranno impiegati per la caratterizzazione biologica e il conteggio di nanoparticelle magnetiche sviluppate in INRIM e del comportamento di biomateriali. Verranno applicati metodi di analisi su grandi insiemi di dati da medicina rigenerativa. Nella tematica (b) verranno sviluppate alcune metodologie per la diagnosi precoce e per il monitoraggio della progressione di malattie degenerative, investigando differenti indicatori del comportamento e delle funzioni di cellule e tessuti di pazienti. In particolare: (i) valutazione dell'espressione genica dei microRNA, presenti nei fluidi biologici, attraverso la tecnica PCR (EMPIR NeuroMet e premiale BRAIN), (ii) valutazione di marker biochimici in tessuti cerebrali e osservazione simultanea di cellule di glioblastoma GFP fluorescenti tramite immagini 3D ad alta risoluzione di tessuti murini utilizzando il microscopio multimodale CARS/SHG/TPEF realizzato dal gruppo; i risultati saranno correlati con la misura AFM del modulo elastico e INAA di metalli in tessuti e cellule (BRAIN).

Infine, un terzo ambito riguarderà lo sviluppo, la validazione e l'applicazione di metodi matematici per le applicazioni nell'ambito dell'ingegneria biomedica, con particolare riferimento alle tecniche che fanno uso di campi elettromagnetici. Sul tema **sicurezza dei sistemi MR** (Magnetic Resonance), l'attenzione si concentrerà sui pazienti portatori di impianti metallici. La valutazione dell'energia depositata e del relativo incremento di temperatura nei tessuti, stimata mediante modelli *in-silico* sviluppati *ad-hoc*, verrà confermata sperimentalmente attraverso set-up sperimentali riferibili, in grado di riprodurre campi a radiofrequenza e di gradiente simili a quelli prodotti da tomografi clinici, anche in vista di future attività di testing volte a valutare la compatibilità tra gli impianti e le sequenze operative. Parallelamente, si svilupperanno tecniche di **imaging quantitativo**, basate su Electrical Properties Tomography (EPT), attraverso lo sviluppo di algoritmi inversi e lo studio della propagazione del rumore di misura. Tali algoritmi verranno applicati a segnali ottenuti in tomografi MR reali, per valutarne l'applicabilità *in-vivo*. Sarà inoltre approfondito lo studio dei sistemi TMS (Transcranial Magnetic Stimulation), sviluppando soluzioni pratiche al problema dell'esposizione degli operatori ed eventualmente individuando procedure di valutazione di interesse in sede normativa. In relazione al tema **sensoristica e manipolazione di bio-sistemi**, si studieranno da un punto di vista teorico-modellistico sensori nanostrutturati per il rilevamento di nanoparticelle magnetiche (dispositivi magnetoresistivi, sensori basati su cristalli magnonici, dispositivi ad effetto Hall, ecc.). Tali attività sono connesse al progetto EMPIR *NanoMag*, nell'ambito del quale il Programma QV1 è impegnato nello sviluppo di modelli numerici a supporto delle tecniche di imaging e caratterizzazione di materiali di riferimento e dispositivi per la sensoristica. Inoltre, particolare attenzione verrà rivolta allo studio di sistemi magnetici nanostrutturati per la manipolazione di nanoparticelle magnetiche e la potenziale integrazione in dispositivi *lab-on-chip*. Inoltre, si intende fornire supporto metrologico alla standardizzazione e allo sviluppo di tecniche di **ipertermia magnetica** basate sull'impiego di nanostrutture magnetiche opportunamente ingegnerizzate, attraverso la valutazione, il controllo e la localizzazione della deposizione di energia e dell'incremento di temperatura dei tessuti. Saranno sviluppati modelli fisico-numerici su scala microscopica per descrivere i processi di magnetizzazione e i conseguenti effetti termici che ne influenzano il comportamento macroscopico. L'accoppiamento con modelli macroscopici permetterà di prevedere il comportamento termico dei tessuti sottoposti a processi di ipertermia indotta.

Metrologia per l'energia e l'ambiente

I cambiamenti in atto nel sistema energetico, in evoluzione verso un modello a ridotto impatto ambientale, comportano una trasformazione sia delle infrastrutture di trasporto e distribuzione dell'energia, sia delle modalità di utilizzo dell'energia in ambito civile e industriale. Il contributo dell'INRIM è finalizzato a fornire il supporto metrologico funzionale all'implementazione e all'incentivazione dei cambiamenti in atto ed è incentrato sullo sviluppo di riferimenti e metodologie di misura per la caratterizzazione, estrazione e trasporto di combustibili e bio-combustibili e per il monitoraggio e controllo dei sistemi di distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica. In ambito ambientale, il contributo dell'INRIM è indirizzato alla realizzazione dell'infrastruttura metrologica in contesti specifici, quali la misura di inquinanti atmosferici e contaminanti e gli studi sulla meteorologia e il clima. Una significativa parte delle attività nel triennio 17-19 sarà incentrata sullo sviluppo dei temi di ricerca previsti da progetti finanziati nell'ambito delle Call EMPIR *Energy and*

Environment 2016 e che prenderanno avvio nel 2017.

Sui temi relativi alla **metrologia per i sistemi energetici**, un primo aspetto riguarderà la riferibilità delle misure di tensione e corrente finalizzate alla determinazione delle caratteristiche dell'energia e della potenza trasmessa e utilizzata in sistemi di trasporto a trazione elettrica. Nell'ambito del progetto EMPIR *Metrology for smart energy management in electric Railway Systems (MyRails)*, coordinato dall'INRIM, si studieranno sistemi di alimentazione e misura per la taratura in laboratorio e a bordo treno di sistemi di misura dell'energia in regime alternato e continuo, in presenza di sollecitazioni analoghe a quelle riscontrabili in campo. Si svilupperanno inoltre sistemi e procedure per la stima dell'efficienza energetica introdotta da strategie e interventi strutturali (*eco-driving* e sottostazioni reversibili). Per quanto riguarda il secondo progetto EMPIR coordinato da INRIM, *Metrology for Inductive Charging for Electrical Vehicles (MICEV)*, si studieranno sistemi per la misura riferibile a bordo veicolo della potenza assorbita dalle batterie in regime continuo, in presenza di *ripple* con spettro sino a 150 kHz, e sistemi per la misura dell'efficienza dell'intero processo di ricarica *contactless*. Con riferimento ad applicazioni nel campo della sensoristica e della generazione di microenergia, si caratterizzeranno in regime dinamico componenti *smart*, quali i sistemi magneto-elastici, e si svilupperanno modelli fisico-matematici per la previsione del loro comportamento.

In relazione alla **determinazione delle proprietà termofisiche dei combustibili**, un tema di ricerca riguarderà la misura delle proprietà dei gas naturale liquefatti (LNG) e dei biogas liquefatti (LBG), sviluppato nell'ambito del progetto EMPIR *Metrological support for LNG and LBG as transport fuel (LNG III)*. A questo scopo, mediante un trasduttore a ultrasuoni per la misura simultanea di densità e velocità del suono, sviluppato presso l'INRIM, si effettueranno misure a temperature criogeniche (fra 105 e 135) K e per pressioni fino a circa 10 MPa, al fine di monitorare il contenuto di additivi e contaminanti su impianti esistenti. I risultati delle misure verranno inclusi nella nuova formulazione dell'equazione di stato dei gas naturali, mantenuta dal GERG.

Per ciò che concerne la misura sperimentale delle **proprietà termofisiche dell'acqua pura**, si intendono sviluppare nuovi metodi di misura della velocità del suono in stati stabili e metastabili dell'acqua pura sotto-raffreddata, nell'intervallo di temperatura compreso fra -30 e 0 °C e per pressioni da 100 MPa a 400 MPa. Lo scopo ultimo è quello di rispondere alle nuove richieste, in ambito scientifico e industriale, di estensione della validità dell'equazione di stato (IAPWS-95) anche in condizioni termodinamiche estreme.

Sul tema della **riferibilità e misura di inquinanti atmosferici e contaminanti**, si svilupperanno campioni primari di gas serra e loro precursori (CO₂ e NO_x) mediante due metodi primari complementari in grado di garantire i valori di incertezza obiettivo richiesti dal WMO (1 ppm per CO₂), con particolare riguardo alla composizione della matrice e alla identificazione e quantificazione delle impurezze. In relazione ai campioni di CO₂, verranno inoltre condotti studi sulle abbondanze isotopiche ¹³CO₂/¹²CO₂ nell'ambito del progetto EMPIR *Metrology for Stable Isotope Reference Standards (SIRS)*. Per quanto concerne i microinquinanti organici, si intende dare riferibilità metrologica alle misure di alcuni Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), mettendo a punto metodi di estrazione da matrici ambientali reali, quali il particolato atmosferico, nell'intorno del valore obiettivo di 1 ng/m³ previsto dalla normativa Europea (Direttiva CE 2004/107/CE - D. Lgs. 155/2010). Nell'ambito della **valutazione di conformità per sistemi multicomponente**, si svilupperanno nuovi approcci statistici per la valutazione delle probabilità di falsi positivi e falsi negativi nelle misure in chimica. Infine, si studieranno metodologie idonee per la gestione dei confronti interlaboratorio per laboratori di taratura e prova nell'ambito delle emissioni.

In relazione alla metrologia per la meteorologia e la climatologia, a valle dei risultati prodotti nell'ambito del progetto EMRP *MeteoMet II*, l'attività sarà focalizzata sulla valutazione delle incertezze in misure termiche e termo-energetiche per studi sull'evoluzione della criosfera e messa a punto di "best practice" per le misure in aree glaciali e periglaciali. Si collaborerà alla realizzazione di un sito di riferimento metrologico per la caratterizzazione di strumenti per misurazione di parametri meteorologici quale primo passo verso la definizione di "climate reference networks", anche in vista della revisione della norma WMO *Sustained Performance Classification for Surface Observing Stations on Land* e per le ISO/TC 146/SC 5, ISO/FDIS 19289:2014(E). Si lavorerà inoltre alla creazione di un gruppo di ricerca a carattere nazionale, quale centro di riferimento per la riferibilità delle misure di parametri ambientali. Si studieranno infine le caratteristiche e si valuteranno le incertezze nella transizione tra radiosonde tipo RS92 a RS41 quali standard di misura per il GCOS GRUAN, mediante caratterizzazione in tunnel a vento "EDDIE" e si fornirà il supporto metrologico alla realizzazione di un laboratorio permanente di metrologia in Artico, presso la base di ricerca di Ny-Ålesund (Svalbard) in collaborazione con ISAC-CNR e Ambasciata italiana in Norvegia.

Metrologia Alimentare

Frodi e contraffazioni della provenienza d'origine dei prodotti alimentari avvengono con allarmante regolarità. La sfida di voler garantire la qualità dei prodotti alimentari e il rispetto di quanto riportato in etichetta è internazionalmente riconosciuta. Dati gli scambi sempre crescenti di merci e la complessità delle reti di approvvigionamento alimentare, i prodotti alimentari tendono a diventare più vulnerabili alle frodi, contaminazioni e contraffazioni. Rientra quindi nell'interesse di tutti gli operatori della filiera, dai produttori ai consumatori, proteggere e valorizzare le produzioni agroalimentari nazionali cui concorre, tra l'altro, una vasta ed esclusiva gamma di prodotti tipici, anche di nicchia. Si devono quindi individuare metodi analitici, adatti a riconoscere l'effettiva provenienza d'origine dei prodotti alimentari, e sviluppare strumenti di analisi innovativi, affidabili e sofisticati che permettano di determinare concentrazioni anche in tracce di sostanze contaminanti o diverse da quelle specifiche del prodotto alimentare; infine, servono indicatori che siano in grado di individuare trattamenti effettuati sul prodotto alimentare, processi di produzione e di trasformazione della complessa filiera alimentare. La combinazione di questi elementi fornirebbe un alto valore aggiunto ai prodotti *Made in Italy*, che acquisirebbero un marchio di autenticità basato su dati sperimentali affidabili.

In generale sulle tematiche di Metrologia Alimentare, INRIM farà parte della Joint Research Unit (JRU) del progetto ESFRI Metrofood (www.metrofood.eu/), con capofila il nodo italiano ENEA. In tale contesto ci si occuperà di dare supporto metrologico per la preparazione di materiali di riferimento in ambito alimentare e si prenderà parte a confronti interlaboratorio per i test di stabilità dei materiali di riferimento. INRIM Proporrà matrici e analiti di interesse in ambito della sicurezza alimentare, della provenienza di origine e della composizione degli alimenti.

Riguardo al tema **contaminanti e biosicurezza**, per rispondere all'esigenza di una maggiore accuratezza e precisione nella determinazione dei contaminanti e additivi presenti nel cibo, si svilupperanno nuove tecnologie per la quantificazione di micotossine nelle matrici alimentari maggiormente soggette alla contaminazione. Si utilizzeranno metodi di misura alternativi, quali la voltammetria e la spettroscopia vibrazionale, da confrontare con la spettroscopia a fluorescenza. Inoltre, si investigheranno metodologie di misura rapide e dirette basate sulla spettroscopia (IR) Raman e infrarossa per la determinazione dell'anidride solforosa presente nel vino. Per rispondere all'esigenza di un controllo affidabile dell'utilizzo di fitofarmaci in campo ortofrutticolo, si svilupperanno metodiche analitiche innovative atte a individuare tracce di pesticidi nelle matrici alimentari integre. Tecniche spettroscopiche avanzate, quali la *Surface Enhanced Raman Scattering* (SERS), garantiscono oltre alla specificità chimica un'elevata sensibilità della misura. Inoltre con queste tecniche è possibile effettuare analisi *non-contact* e non distruttive del campione alimentare.

Al fine di affiancare gli attuali sistemi di sicurezza in ambito zooprofilattico, verrà inoltre testata la possibilità di utilizzare l'*Imaging* Iperspettrale per verificare l'eventuale presenza di contaminanti di origine animale nei mangimi, principale causa della trasmissione e diffusione delle encefalopatie spongiformi. A questo scopo verranno utilizzati la spettroscopia Raman per il rilevamento di frammenti ossei e la spettroscopia nel vicino infrarosso (NIR) per un'analisi di *screening*. Verranno inoltre studiati potenziali metodi di analisi rapidi e efficaci per l'individuazione di farine di insetto in sfarinati per la mangimistica in vista della futura introduzione di tali prodotti nella lista degli ingredienti consentiti nei mangimi multicomponente. Le tecniche applicate saranno principalmente l'analisi per attivazione neutronica e il NIR.

Infine, sul tema biosicurezza, nell'ambito del progetto EMPIR METvsBadBugs (inizio Giugno 2016) si studierà la presenza di batteri nella catena alimentare. L'attività ha lo scopo di valutare sia dal punto di vista qualitativo sia quantitativo la penetrazione di farmaci specifici all'interno di batteri. In questo ambito, si svilupperanno tecniche di misura SERS e TERS per lo studio dell'interazione antibiotico-batterio e il monitoraggio della antibiotico-resistenza dei batteri.

Un secondo filone di ricerca è relativo allo studio degli **imballaggi per alimenti**; esso riguarderà lo sviluppo di sistemi di misura per la caratterizzazione della superficie dei materiali per l'imballaggio alimentare a diretto contatto con gli alimenti stessi e lo sviluppo di metodi e tecniche di analisi per la quantificazione della migrazione di agenti attivi (nanoparticelle o molecole naturali) dal materiale di imballaggio alimentare al cibo. Si intendono sviluppare sistemi modello e materiali di riferimento per gli imballaggi alimentari attivi e quantificare le loro proprietà antimicrobiche.

Per quanto concerne le **nanotecnologie per la metrologia alimentare**, l'utilizzo dei materiali nanostrutturati permette lo sviluppo di tecniche analitiche in grado di sfruttare le potenzialità per incrementarne sia la sensibilità che la specificità verso gli analiti. A tal fine, materiali nanostrutturati metallici verranno impiegati in combinazione con tecniche di spettroscopia Raman per sfruttare effetti di amplificazione del segnale, al fine di incrementare la sensibilità analitica delle metodiche. In particolare, sono in fase di sviluppo tecnologie di nanofotonica collegate alla spettroscopia Raman amplificata da effetti di natura plasmonica mediante l'utilizzo di nanoparticelle metalliche e/o di substrati solidi nanostrutturati per

applicazioni in ambito di Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS). Inoltre è disponibile un apparato che, integrando la microscopia a scansione di sonda con la spettroscopia Raman (Tip-Enhanced Raman Spectroscopy - TERS), permette di ottenere immagini chimiche di substrati nanostrutturati e molecole con una risoluzione di pochi nanometri.

Infine, per quanto concerne lo sviluppo di sistemi di riferimento, sono previste le seguenti attività.

Sistema di misura primario per la conducibilità elettrolitica per il controllo dell'acqua e delle bevande. L'acqua costituisce il componente principale di molte derrate alimentari. Inoltre, essa è utilizzata per il lavaggio e sanificazione di contenitori e strumenti per la conservazione del cibo. Un controllo inadeguato della qualità dell'acqua è una causa importante potenziale di contaminazione del cibo. Nel controllo di qualità dell'acqua, la conducibilità elettrolitica è un metodo di misura comunemente impiegato per determinare la purezza ionica complessiva dell'acqua. Questo parametro può essere facilmente determinato senza attrezzature costose e, per questo motivo, è usato diffusamente nel settore farmaceutico, ambientale e alimentare. Tuttavia, i valori di conducibilità possono essere considerati affidabili solo se sono riferibili al Sistema Internazionale delle unità (SI).

Sistema di misura primario basato sull'attivazione neutronica per l'individuazione di elementi in tracce negli alimenti. L'analisi per attivazione neutronica - NAA è utilizzata per la determinazione di elementi, anche in traccia, in diverse matrici alimentari. Essa si basa sul rendere radioattivi i nuclei di atomi stabili attraverso l'irradiazione con neutroni. La radioattività indotta produce l'emissione di raggi gamma. Dall'elaborazione dei dati ottenuti dall'emissione di raggi gamma, è possibile ottenere un'analisi qualitativa e quantitativa degli elementi investigati. Con la partecipazione a confronti internazionali e con la valutazione dell'incertezza dei dati ottenuti, la tecnica di misura basata sull'attivazione neutronica è considerata a livello internazionale un sistema di misura primario.

Metrologia della temperatura

L'attività di ricerca a supporto della **nuova definizione del kelvin e della sua mise-en-pratique (MeP-K)**, svolta nell'ambito del Progetto Strategico INRIM "Nuova definizione del kelvin e *mise-en-pratique*" e del Progetto EMPIR SI 2015 InK2 "Implementing the new kelvin 2", è volta a rafforzare il ruolo dell'INRIM a livello internazionale, con particolare riferimento allo sviluppo di tecniche di misura innovative per la determinazione di temperature termodinamiche T . In particolare, le attività previste riguardano la misura mediante metodi a microonde e/o acustici della temperatura termodinamica T nell'intervallo di temperatura compreso fra 45 K e 273.16 K e la realizzazione di nuovi apparati sperimentali per estendere l'intervallo di temperatura coperto dalla termometria acustica primaria all'intervallo compreso fra temperatura ambiente e 1000 K.

L'attività di ricerca in **termometria primaria**, strettamente connessa con la nuova definizione del kelvin, sarà rivolta a predisporre tecniche e sistemi di misura a supporto della MeP-K per la realizzazione e la disseminazione del nuovo kelvin anche attraverso il miglioramento dell'attuale scala ITS-90 e ad individuare e implementare nuovi approcci di termometria primaria.

Le principali attività previste riguardano:

- a) la determinazione delle differenze ($T - T_{90}$) fra la temperatura termodinamica T e le temperature T_{90} definite sulla ITS-90 attraverso misure acustiche primarie nell'intervallo compreso tra 230 K e 1000 K; a completamento di attività previste nel precedente progetto EMRP InK "Implementing the new kelvin", proseguirà lo sviluppo di un termometro acustico (AGT) per la misura della temperatura termodinamica nell'intervallo compreso fra 273.16 K e 1000 K.
- b) come previsto dal progetto InK2 "Implementing the new kelvin 2" si realizzerà un termometro primario basato sulla misura dell'indice di rifrazione (RIGT) di gas monoatomici mantenuti a temperature criogeniche in risonatori a microonde per la determinazione delle differenze ($T - T_{90}$) nell'intervallo fra 45 K e 273.16 K;
- c) il miglioramento della ITS-90 dal campo criogenico fino al punto dell'Ag (961.78 °C); studi sui nuovi punti fissi termometrici in campo criogenico (Xenon e punto di transizione solido-solido α - β dell'Ossigeno), in particolare si avvierà un confronto con il NRC (Canada) per il punto triplo dello Xenon per consentire la proposta al CCT di questo punto in sostituzione del punto del mercurio nella prossima revisione della scala di temperatura ITS prevista nel prossimo decennio;
- d) il miglioramento della ITS-90 ad alta temperatura (oltre il punto dell'Ag) attraverso lo studio e l'uso dei punti fissi eutettici metallo-carbonio per alta temperatura (in particolare Pt-C, Ru-C, Ir-C, Re-C). Verrà messo a punto e caratterizzato il nuovo sistema di misura basato su corpo nero ad alta temperatura (fino a 2500 °C) che consentirà (i) preparazione di celle punto fisso, (ii) realizzazione di punti fissi e (iii) realizzazione di scale termodinamiche. Si realizzeranno scale di temperatura per radiazione per

interpolazione e/o estrapolazione a partire dal punto del Cu utilizzando termometri e lunghezze d'onda di lavoro diverse. L'utilizzo di 1, 2, 3 o più punti fissi consentirà ampia flessibilità dei campi di temperatura coperti tra 1358 K e 2750 K. Proseguirà l'attività volta al miglioramento della caratterizzazione spettrale del termometro campione che risulta parametro fondamentale per la definizione del livello di incertezza nella realizzazione della scala stessa.

Proseguirà l'attività di supporto per **applicazioni scientifiche e tecnologiche di Metrologia Termica** attraverso:

- contributi di metrologia termica in supporto a tecniche spettroscopiche per misure termodinamiche (in collaborazione con Seconda Università degli Studi di Napoli, attività su Doppler Broadening Technique)
- realizzazione di Gas-Controlled Heat Pipes per applicazioni scientifiche e tecnologiche, inclusa realizzazione di dispositivi per tarature accurate di termometri campione e termocoppie.
- caratterizzazione di sensori termici per diverse applicazioni con realizzazione di dispositivi innovativi; procedure di taratura sperimentali e dedicate alla riduzione delle incertezze di taratura; valutazione dell'incertezza di misura in condizioni operative.
- nell'ambito del progetto SCIEF (Sviluppo delle Competenze Italiane per l'esperimento FORUM-Far-Infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring) finanziato da ASI, INRIM effettuerà la caratterizzazione termica e l'analisi spettrale della cavità di riferimento collaborando con INO-CNR allo sviluppo della cavità stessa.

In seguito al finanziamento del progetto SEED 2016 "Test of a low pressure standard based on a superconducting microwave cavity" verrà realizzato un prototipo di cavità a microonde, superconduttiva a temperature criogeniche (< 10 K), e verrà avviato lo studio delle sue prestazioni come campione primario di bassa pressione nell'intervallo fra 100 Pa e 10 kPa. Tale attività sarà svolta in collaborazione con STALT (Laboratorio Metrologia basse pressioni) e con LNE-CNAM, con il quale è stata formalizzata nel 2016 l'istituzione del Joint Research Laboratory for Fluid Metrology Evangelista Torricelli.

In collaborazione con il Programma di Metrologia Termodinamica di STALT proseguirà l'attività nell'ambito del progetto EMPIR IND 2014 HiT "Metrology for Humidity at High Temperatures and Transient Conditions" che prevede l'utilizzo di metodi di termometria a microonde per la misura di composizione di miscele umide in condizioni di alta pressione e temperatura.

Key & enabling technologies - Nanoscienze e materiali

La Divisione conduce ricerca di base e tecnologica nell'ambito delle nanoscienze e dei materiali, sia in relazione alla realizzazione di riferimenti metrologici, sia in risposta alle esigenze di innovazione tecnologica dell'industria e dei servizi. Le tematiche principali della Divisione sono le seguenti:

Metrologia elettrica quantistica
Nanostrutture e dispositivi
Materiali magnetici per l'energia
Fotonica

La Divisione promuove e valorizza l'originalità e le potenzialità dell'approccio metrologico alle nanoscienze ed ai materiali nelle sue relazioni con i soggetti operanti in ambito nazionale e internazionale.

Metrologia elettrica quantistica

L'attività prevede la ridefinizione dei campioni nazionali delle unità elettriche di base (ampere) e derivate, coerentemente con la proposta ridefinizione del Sistema Internazionale di unità, come da documento CCEM WGS1 17-08:

Conteggio delle cariche elettroniche per la ridefinizione dell'ampere

La ricerca ha come obiettivo la messa a punto di dispositivi SET di design innovativo, garantendo caratteristiche metrologiche allineate con lo stato dell'arte nei dispositivi metallici ed introducendo un parametro di controllo addizionale, il flusso di campo magnetico. In particolare si implementeranno modelli, supportati dalla realizzazione e caratterizzazione di dispositivi a singolo elettrone turnstile a gate magnetico (SQUISET), anche in collaborazione con NEST. Proseguirà l'ottimizzazione del setup criogenico integrandolo in una catena di misura riferita per basse correnti, volta a una validazione dell'accuratezza di pompaggio di elettroni nel range 50 fA - 10 pA. Con l'introduzione di amplificatori di corrente ultrastabili verrà effettuato il confronto tra le correnti generate mediante SET e i campioni nazionali.

Realizzazione pratica del volt in regime continuo e variabile

Nel corso del triennio verrà realizzato un Josephson Voltage Standard programmabile (PJVS) di nuova concezione, in cryocooler, in grado di generare due tensioni indipendenti per applicazioni in metrologia dell'impedenza e della potenza. L'esperienza acquisita consentirà anche di pianificare un'implementazione successiva di un Josephson Arbitrary Waveform Synthesizer. Le applicazioni del sistema includono la realizzazione diretta dell'unità per la metrologia digitale, la caratterizzazione di convertitori analogico-digitali (ADC), la sostituzione del sistema di convertitori termici come campioni di tensione alternata, campioni di potenza e impedenza quantistici.

Realizzazione pratica delle unità di resistenza e impedenza

Per quanto concerne la realizzazione dell'ohm tramite effetto Hall quantistico verranno studiati nuovi dispositivi Hall in GaAs (array Hall), finalizzati alla realizzazione di valori decadici di resistenza, e dispositivi in grafene, caratterizzati anche con tecniche di impedance tomography, in regime alternato e alle radiofrequenze, in grado di ottenere la quantizzazione a valori di campo magnetico e temperatura che consentono operatività in ambienti cryogen-free tabletop. Verranno implementati sistemi di scaling di resistenza intrinsecamente riferiti (comparatori di corrente criogenici). Sarà realizzata una scala di resistenza in regime continuo con comparatore criogenico di correnti.

Verrà realizzato un sistema di ponti di impedenza digitali per il trasferimento del valore della resistenza di Hall quantizzata in dispositivi in grafene, direttamente in regime alternato, verso i campioni di impedenza elettrica.

Campione quantistico di induzione magnetica

Si effettuerà uno studio per la realizzazione del campione quantistico di induzione magnetica attraverso fenomeni di risonanza magnetica nucleare.

Nanostrutture e dispositivi

NanoSQUID

Verranno studiati e realizzati nanoSQUID con risoluzione fondamentale, sia per le unità elettriche e fotometriche precedentemente citate che per applicazioni per applicazioni spaziali, mediche e di fisica fondamentale.

Sorgenti a singolo fotone

Nell'ambito delle applicazioni per la fotonica verranno progettate e fabbricate sorgenti a singolo fotone, e le nano-strutture di accoppiamento e guida.

Nanofabbricazione su larga area

Verranno sviluppati materiali con proprietà ottiche progettabili a priori per il sensing ambientale e per la fotonica ed i metamateriali. Sempre con metodi di self-assembly verranno studiati gli effetti di interazione tra radiazione coerente e nanostrutture, con ricadute nella plasmonica e nelle nanolavorazioni. Metodi e strutture non-imaging potranno consentire il miglioramento della risoluzione laterale delle tecniche MALDI.

Verranno avviati studi sulla fotografia di volume, in collaborazione col LENS, sulle micro e nanolavorazioni per le tecnologie dei fasci protonici con INFN Legnaro, e la produzione e caratterizzazione di nanowires superconduttivi in collaborazione con MIKES-VTT per lo studio del quantum phase slip.

Dispositivi RF e THz

In collaborazione con il NEST e INO si intende sviluppare una sorgente THz monocromatica basata su Quantum Cascade Laser e sviluppare un sistema di caratterizzazione per rivelatori in banda THz sia a bassa ed alta Tc.

Saranno sviluppati nanodispositivi TES e relative antenne per misure di piccole potenze a microonde (30-100 GHz) in guida d'onda in collaborazione con la sezione INFN di Trento.

Verranno sviluppati amplificatori di segnali alle microonde ad ampia banda basati sull'ingegnerizzazione di metamateriali Josephson con prestazioni limitate dai soli vincoli quantistici per applicazioni nella computazione e comunicazione quantistica.

Trasporto di spin e della dinamica di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche

Si studieranno: a) 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); b) la termodinamica di non equilibrio per il trasporto di momento magnetico e calore nei solidi e nelle interfacce (spincaloritronica, effetto spin Seebeck).

Sensoristica magnetica e metodi di misura

Si progetteranno elementi sensibili di sensori spintronici con tecniche nanolitografiche allo scopo di sviluppare tecniche di misura adeguate (a magnetoresistenza anisotropica e a magnetoresistenza gigante). Verranno sviluppate tecniche di: a) misurazione di effetti collegati all'esistenza di correnti di spin (spin-Hall, spin-Seebeck, spin-Peltier, spin-torque, etc.); b) misura della dinamica di magnetizzazione uniforme o non uniforme (spin wave, vortici, skyrmions, etc.) tramite microonde, magnetooptica, MFM, etc.; c) misura per l'ipertermia da nanostrutture magnetiche; d) misura di parametri collegati all'interazione spin-orbita (es. anisotropia magnetocristallina, costante di interazione Dzyaloshinskii-Moriya, spin-Hall angle, etc.).

Imaging magnetico

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 (MFM calibrato, magneto-ottica con film indicatori).

Preparazione di materiali per la spintronica e per le applicazioni del nanomagnetismo

Si prepareranno nanostrutture da film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves e per la magneto-meccanica. Si realizzerà la sintesi e la funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche 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).

Materiali magnetici per l'energia

Comprensione dei processi di magnetizzazione nei materiali magnetici per l'energia

Si studieranno teorie e modelli per il processo di magnetizzazione scalare e vettoriale e per le trasformazioni di fase dei materiali funzionali.

Sviluppo di tecniche di misura per i materiali magnetici

Si svilupperanno metodi sperimentali di misura statica e dinamica: per i materiali magnetici per l'energia (in regime mono e bi-dimensionale), per l'archeologia ed i beni culturali, per la refrigerazione a stato solido (magnetocalorici ed elettrocalorici).

Preparazione di materiali magnetici innovativi

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.

Fotonica

Nell'ambito della "mise en pratique" della Candela verranno seguite due linee di sviluppo:

a) Predictable Quantum Efficient Photodiodes (PQED), fotorivelatori predicibili basati sull'effetto fotoelettrico nel silicio; tramite un'accurata modellizzazione dell'efficienza di conversione fotone-elettrone e delle perdite per riflessione in strutture a trappola è possibile realizzare rivelatori predicibili con elevata efficienza e bassa incertezza. La ricerca proseguirà con la caratterizzazione di questi rivelatori con fasci divergenti (per la misura di potenza ottica in fibra oppure all'uscita da un monocromatore), l'estensione dinamica a potenze ottiche più elevate fabbricando nuovi fotorivelatori con giunzioni indotte che possano funzionare sia in normale regime fotoelettrico sia in regime bolometrico.

b) Sorgenti di singoli fotoni in nano-diamanti per la radiometria singolo fotone. La ricerca riguarderà il miglioramento di sorgenti campione predicibili (on-demand) di singoli fotoni ad un rate e ad una lunghezza d'onda di emissione specifici. In particolare ci si pone l'obiettivo di aumentare significativamente il rate di emissione dei fotoni e ridurre la larghezza dell'emissione studiando nuovi centri attivi in diamante bulk.

A supporto della caratterizzazione statistica delle sorgenti campione singolo fotone l'attività di ricerca sui rivelatori superconduttivi (TES) proseguirà con l'obiettivo di migliorare l'efficienza di rivelazione nel visibile e vicino infrarosso, mediante l'applicazione di strutture antiriflettenti e/o strutture plasmoniche con FIB ed EBL. L'esperienza acquisita nella realizzazione dei TES per il NIR verrà estesa alla ricerca di film con transizioni inferiori ai 100 mK e con volumi molto ridotti (fino a $10^{-3} \mu\text{m}^3$) per estendere il campo di misura al conteggio di singolo fotone nel campo delle microonde. In collaborazione con altri istituti si estenderà la ricerca a rivelatori di singolo fotone TES con giunzioni su grafene per ottenere dispositivi che possano lavorare a frequenze di conteggio dell'ordine delle decine di MHz e rivelatori alternativi ai TES, come i Kinetic Inductance Detectors (KID) che consentono di realizzare matrici di rivelatori per creare immagini.

Nell'ambito delle applicazioni, l'evoluzione degli impianti di illuminazione verso sistemi "smart" volti a migliorare le prestazioni energetiche e percettive dell'ambiente illuminato, necessita lo sviluppo di metodologie di caratterizzazione delle proprietà fotometriche e radiometriche dei materiali. Le principali applicazioni saranno nell'ambito dell'illuminazione stradale e di interni.

Industrial leadership - STALT: Innovazione e servizi per l'impresa

La Struttura organizza e svolge attività di ricerca applicata e il servizio metrologico a supporto dell'industria e della società; risponde a specifiche richieste su problemi di metrologia provenienti dalle imprese e dalla PPAA; sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale e partecipa all'attività di normazione nazionale e internazionale.

La Struttura 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 rilevante. Nel triennio verranno sviluppate attività di ricerca nei campi della metrologia meccanica, elettromagnetica, acustica e termica anche in collaborazione con i partner metrologici europei e l'industria.

Per il raggiungimento degli obiettivi e delle finalità indicate, la struttura è organizzata in aree tecnico-scientifiche; per l'assistenza ai clienti si è dotata di un ufficio di collegamento tra i clienti ed i servizi di metrologia erogati dall'ente (*customer care*).

Sono individuate tre aree tecnico-scientifiche per lo svolgimento delle attività nei settori della metrologia meccanica, elettromagnetica e termodinamica.

Metrologia meccanica. Per la metrologia della massa saranno migliorate le tecniche per la riferibilità delle misure di massa nel trasferimento dei campioni materiali dal vuoto all'aria e viceversa. Saranno studiati gli effetti causati dall'assorbimento superficiale dei campioni e sviluppati metodi per migliorare la loro stabilità nel lungo periodo.

Per la grandezza pressione si prevede l'estensione delle capacità di misurazione nel campo da circa 1 Pa a 15 kPa per applicazioni nel campo farmaceutico, delle nanotecnologie e dei semiconduttori.

Estensione ai grandi volumi ($> 100 \text{ m}^3$) delle capacità di misurazione a coordinate, anche in ambiente non cooperativo, quale quello di produzione. Tipiche aree applicative sono l'aerospazio e le infrastrutture. Nell'ambito di progetti europei, INRIM sta sviluppando un nuovo paradigma di misurazione a coordinate denominato InPlanT (*Intersecting Plane Technique*).

Messa a punto di un sistema di generazione e misura di nano-angoli per la taratura di accelerometri per la missione spaziale BepiColombo: l'incertezza sarà dell'ordine di 10^{-4} con accelerazione di 1 mm/s^2 .

Sviluppo di metodologie di caratterizzazione della forma e finitura di geometrie complesse quali ingranaggi e sistemi di trasmissione di medie/grandi dimensioni impiegati nei generatori eolici. Verranno studiati i parametri ottimali di densità del campionamento e filtraggio delle forme così come le componenti caratteristiche (ondulazione e rugosità) delle superfici in gioco. Verrà realizzato un campione diametrale costituito da un settore di anello di diametro $\geq 1 \text{ m}$ e con scanalatura a profilo sferico.

Studio di nuovi parametri per la caratterizzazione di superfici funzionali, in particolare per la correlazione tra la topografia, le dimensioni critiche e le proprietà funzionali in gioco. Tra queste verranno prese in esame superfici funzionali quali le celle fotovoltaiche e superfici strutturate ottenute con tecniche di stampaggio 3D. INRIM realizzerà in collaborazione con NPL un sistema di posizionamento ad appoggi cinematici per campioni di larghezza fino a 150 mm.

Per la metrologia di superfici nanostrutturate, in particolare per campioni a larghezza di tratto (fino a 10 nm) e nano particelle, sferiche e non, verranno studiate metodologie ibride di misurazione basate sulla fusione di dati ottenuti da tecniche microscopiche diverse (AFM e SEM), tali da migliorare l'accuratezza delle misure delle dimensioni critiche. Una nuova configurazione del sistema ottico-interferometrico verrà implementata per gli assi x-y del microscopio a sonda. Riferibilità e caratterizzazione degli effetti di scala sulle proprietà meccaniche del materiale. Misurazioni di indentazione e tensile-test di campioni su meso- e macro-scala e studio degli effetti di scala in funzione della temperatura.

Nel settore gravimetria è in fase di studio e progettazione un laboratorio come stazione di monitoraggio gravimetrica monitorata con un gravimetro relativo superconduttore e dotata di una grande piattaforma per il confronto e la taratura dei gravimetri assoluti

Metrologia elettromagnetica. Sono in corso di studio e di realizzazione reti di resistenze per il trasferimento della riferibilità nel campo da 100 Gohm a 10 Tohm. Nell'ambito delle misure delle alte resistenze in corrente continua è attiva una collaborazione per la caratterizzazione elettrica di sensori per spirometria e qualità dell'aria. Sarà sviluppato un dispositivo trasportabile composto da un campione di tensione continua e due resistori campione per la messa in punto di strumenti elettrici multifunzione.

Vi è un forte interesse dell'industria elettrica italiana per le prove di cortocircuito. Si prevede un miglioramento delle capacità di prova di cortocircuito con l'obiettivo di raggiungere il livello di 100 kA.s e l'adeguamento dell'impianto di prova di cortocircuito per l'esecuzione di prove di tenuta dei quadri elettrici all'arco interno. Nell'ambito di un progetto europeo verranno analizzati aspetti concernenti l'applicazione di apparecchi di illuminazione (prevalentemente allo stato solido) in ambienti illuminati ai fini della valutazione degli effetti flicker nell'illuminazione stradale e del danno fotobiologico di sorgenti di bassa potenza presenti contemporaneamente nel campo visivo. Ulteriori attività riguardano la misurazione della ripartizione della radianza spettrale e della radianza spettrale mediante sfera integratrice, con un significativo sforzo per la riduzione dell'incertezza di misura.

Metrologia termodinamica. E' in corso lo sviluppo di nuovi sistemi di riferimento per la misura della temperatura superficiale fino a 700 °C e di nuovi sensori basati su fosfori termosensibile per misure in situ nei processi di trattamento termico, forgiatura e saldatura di leghe speciali per applicazioni aeronautiche e navali, nell'ambito di un progetto europeo. Altro obiettivo sarà fornire strumenti per migliorare la metrologia delle superfici ingegnerizzate e nano strutturate, in particolare, per la misurazione della temperatura nel punto di contatto di usura tra superfici con lo sviluppo di un brevetto che copre tecniche di misura e sensori integrati a fibra ottica.

In campo termo-igrometrico verrà completata la validazione del campione di umidità relativa e l'estensione del campo di misura oltre i 100 °C. Nell'ambito di un progetto con industrie europee verrà sviluppato un nuovo approccio alla riferibilità in igrometria per temperature >100 °C ad alta pressione in vapore saturo, con applicazione nei processi di essiccaimento e nelle produzioni alimentari di pregio. Verrà consolidato il campione e la capacità di misura per estendere la scala di temperatura di brina fino a -100 °C a pressione sub-atmosferica.

Nell'ambito dei sistemi di contabilizzazione dell'energia termica la disponibilità di un impianto di simulazione di riscaldamento domestico, unico in Europa, permetterà di avviare sperimentazioni e campagne di validazione di sensori di nuova generazione per la contabilizzazione dei consumi di energia termica in ambiente domestico ed una più equa valutazione dei costi da attribuire alle singole utenze. L'attività verrà svolta in sinergia con industrie nazionali e straniere interessate ad una valutazione metrologica dell'efficienza di *soft e smart sensors* per la contabilizzazione energetica. Si prevede di supportare la realizzazione di un campione secondario per la taratura di trasduttori di portata idrica e di energia termica ad alta temperatura. Nel campo dell'energia termica si completerà la validazione del campione e la realizzazione della catena metrologica che permetterà di assicurare la riferibilità ai laboratori e alle industrie accreditate secondo le normative EN-ISO 17025. Verrà finalizzato un sistema di riferimento per la misura dei flussi termici per applicazioni collegate all'efficienza energetica in edilizia.

Al fine di ottenere la riferibilità della potenza sonora è in corso di realizzazione, in collaborazione con PTB, un campione di trasferimento in grado di generare bande strette di rumore o toni puri.

Ricerca pre-normativa e supporto alla normazione

L'INRIM collabora stabilmente con gli enti di normazione nazionali, quali UNI e CEI e internazionali, quali CEN, ISO e IEC, partecipando ai lavori e/o presiedendo numerosi organismi tecnici operanti nei campi delle misure e delle connesse apparecchiature.

Contribuisce allo sviluppo della nuova normativa tecnica per le specifiche geometriche di prodotto. Essa è di grande aiuto concettuale e pratico quando la misurazione viene effettuata per valutare le prestazioni di uno strumento di misura indicatore, ad esempio in fase di accettazione e verifica. In questo caso lo strumento in prova è il misurando, mentre la quantità nota applicata è il riferimento. Questa inversione influenzerà la consueta prospettiva di valutazione dell'incertezza, in particolare per quanto riguarda la verifica di prestazioni di CMM (*Coordinate Measuring Machine*).

I risultati attesi dal progetto 14IND03 Strength-ABLE forniranno il supporto tecnico per l'adeguamento e l'aggiornamento delle norme per le prove di proprietà meccaniche di materiali.

A supporto delle nuove esigenze industriali in campo manifatturiero, sono in corso numerose revisioni di norme tecniche sia in termini di incertezza e accuratezza di misura, sia per implementare nuove definizioni concordate a livello internazionale. In particolare, per il miglioramento del linguaggio dei simboli utilizzati (il cosiddetto G3) per individuare la cosiddetta *via minima alla riferibilità* nel caso di sistemi complessi e per le prove di durezza dei materiali.

Metrologia del suono e l'acustica degli edifici. Recentemente è stata istituita una roadmap in acustica edilizia, nell'ambito EAA TC-RBA WG4 "Sound insulation requirements and sound classification", al fine di ridefinire procedure di misura in situ e in laboratorio per effettuare, tra l'altro, misure di comportamento modale a basse frequenze (da 50 Hz a 100 Hz). Ciò permetterebbe una riconsiderazione delle misure acustiche sia dal punto di vista teorico che quello pratico. L'INRIM svolge un ruolo di leadership in acustica edilizia è impegnato ad effettuare studi approfonditi nel campo delle basse frequenze. Utilizzando i risultati di un progetto europeo, verranno definite nuove norme ISO per la misura della potenza sonora di macchine e per la taratura di sorgenti sonore di riferimento con riferibilità diretta al campione di potenza sonora.

Sono in corso di stesura linee guida (Best Practice) per la caratterizzazione delle superfici funzionali e saranno studiati dei parametri ottimali di campionamento e filtraggio per le forme e finiture degli elementi e campioni nell'ambito di un progetto europeo.

Supporto all'industria e confronti interlaboratorio

Impegno strategico dell'istituto è il mantenimento dei servizi di taratura e certificazione, che richiedono importanti risorse per quanto riguarda l'impegno di personale, l'adeguamento dei laboratori e delle apparecchiature. Ciò avverrà mediante lo sviluppo di nuove *facilities* che consentano di avviare nuovi servizi, o migliorare quelli esistenti, e un modello organizzativo orientato ad un rapporto più stretto con l'industria ed i laboratori del Sistema nazionale di taratura.

In tale ottica si segnalano l'attivazione di un ufficio di "*Customer care*" per ricevere, esaminare e riscontrare le richieste dell'utenza e la lavorazione dei prodotti; l'attivazione di un nuovo servizio riguardante l'offerta, l'organizzazione e la valutazione tecnico-scientifica di confronti di misura interlaboratori (ILC), a supporto dei laboratori industriali accreditati o in fase di accreditamento; le attività di consulenza tecnico-scientifica per la realizzazione e l'avviamento di laboratori di taratura e prova.

L'INRIM collabora stabilmente con ACCREDIA - l'Ente italiano di accreditamento - mettendo a disposizione i propri esperti tecnici per l'attività di esame e/o valutazione di procedure e documentazione tecnica, l'esecuzione di visite ispettive presso i laboratori accreditati di taratura e prova, la realizzazione di guide tecniche specialistiche.

3) Quadro delle collaborazioni internazionali ed eventuali interazioni con le altre componenti della rete di ricerca e delle partecipazioni

Nel triennio 2017-2019 proseguiranno le collaborazioni con organismi quali **CIPM**, **BIPM**, **EURAMET** ed **ESA**. L'INRIM porterà avanti anche nuovi progetti in ambito Horizon 2020.

Tra le nuove collaborazioni in ambito Euramet sono da segnalare 8 progetti che hanno partecipato alla terza call EMPIR lanciata nel 2016 e che verranno avviati a partire dal 2017. La tabella seguente li riporta in dettaglio.

Tabella 9 –Progetti EMPIR in avvio nel 2017

Call	Acronimo	Titolo
ENERGY	ENG04 (coordinato dall'INRIM)	Metrology for smart energy management in electric railway systems (MyRailS)
	ENG08 (coordinato dall'INRIM)	Metrology for inductive charging of electric vehicles (MICEV)
	ENG09	Metrological support for LNG and LBG as transport fuel (LNG III)
ENVIRONMENT	ENV06	Metrology for stable isotope reference standards (SIRS)
	ENV07	Aerosol metrology for atmospheric science and air quality (AEROMET)
NORMATIVE	NRM01 (coordinato dall'INRIM)	Developing electrical characterisation methods for future graphene electronics (GRACE)
	NRM02 (coordinato dall'INRIM)	Pavement surface characterisation for smart and efficient road lighting (SURFACE)
	NRM04	Towards an ISO standard for magnetic nanoparticles (MagNaStand)

Riguardo alle nuove iniziative di collaborazione con l'ESA, a dicembre 2016 l'INRIM ha vinto la gara, insieme a Thales Alenia Space Francia, per la costruzione del Galileo Time Service Provider, una facility che è in corso di installazione nei due centri di controllo di Galileo; grazie al supporto dell'INRIM la facility funzionerà per i prossimi 10 anni fornendo al sistema Galileo tutte le correzioni necessarie per mantenere la propria scala di tempo sincronizzata con UTC e garantire un servizio di disseminazione del tempo al livello di decine di nanosecondi.

Per quanto concerne le partecipazioni in società consortili, oltre ai consorzi già attivi nel 2016, l'INRIM nel 2017 ha aderito all' **APRE (Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea)** in qualità di socio ordinario; l'Agenzia è un'Associazione di Ricerca non profit che, in stretto collegamento con il Ministero Istruzione, Università e Ricerca (MIUR), fornisce ai propri associati come pure a imprese, enti pubblici, privati e persone fisiche, informazioni, supporto ed assistenza per la partecipazione ai programmi e alle iniziative di

collaborazione nazionale ed europee (oggi, con particolare riferimento ad Horizon 2020) nel campo della Ricerca, Sviluppo Tecnologico e Innovazione (RSTI) e del trasferimento dei risultati delle ricerche.

Nel 2017 saranno stipulate cinque nuove collaborazioni per il triennio:

- agreement di collaborazione scientifica e tecnologica di collaborazione nel settore concernente lo studio dei materiali magnetici e, specificamente, dei magneti in ferrite sinterizzata con il Centre for Research and Technology-Hellas/Chemical Process and Energy Resources Institute (CERTH/CPERI) - Thessaloniki (Grecia);
- convenzione per l'attivazione e il funzionamento del Corso di Dottorato di Ricerca in Metrologia per un triennio a partire dall'anno accademico 2017/2018 (33°, 34° e 35° ciclo) con il Politecnico di Torino;
- rinnovo della convenzione per la diffusione del segnale di tempo riferito a UTC attraverso la fibra ottica con il Consorzio Torino Piemonte Internet eXchange (TOP-IX) –Torino;
- convenzione di collaborazione nell'ambito dello studio multidisciplinare di Beni Culturali, di origine sia antropica che naturale, con l'utilizzo di metodi non invasivi e di ultima generazione con l'Accademia Europea di Bolzano (Eurac Research);
- accordo di collaborazione con per la realizzazione di un progetto didattico di ricerca e sviluppo in ambito metrologico con l'Istituto d'Arte Applicata e Design (IAAD) di Torino.

Il triennio 2017-2019 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

EURAMET

E' 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 programmi di ricerca e 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. Tali programmi sono cofinanziati (attraverso l'art. 185 del trattato comunitario) dagli stati nazionali e la comunità europea (European Metrology Research Programme, EMRP, 2009-2017, 400 M€ – European Metrology Programme for Innovation and Research, EMPIR, 2014-2025, 600 M€). 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 di circa l' 8%, 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 – 2025), 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

- 1.4 M€ per EMRP (2009-2017)
- 2.4 M€ per EMPIR (2014-2025)

I costi di partecipazione nazionale agli organismi di EURAMET (comitato di gestione dei programmi di ricerca, assemblea dei soci, consiglio direttivo, comitati tecnici) ammontano a 10 k€/anno.

Galileo Timing Research Infrastructure

L'Europa è impegnata nella costruzione di un sistema di navigazione satellitare per il quale sono necessarie competenze di metrologia attualmente sparse e non sempre formate. L'infrastruttura 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), sia a livello industriale.

L'attività si articola in programmi.

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

- a. Partecipazione alla Galileo Time Validation Facility FOC (congiuntamente a GMV di Madrid) utilizzando la scala di tempo nazionale UTC(IT) come riferimento per lo steering del Galileo System Time;
- b. Valutazione e simulazione di scenari per un sistema intelligente di bordo di monitoring degli orologi (ex contratto G2G di SELEX ES);
- c. Validazione e stima in tempo quasi reale sia degli orologi di bordo e della scala di tempo di Galileo, sia il monitoring della disseminazione di UTC e del GPS To Galileo Time Offset fatta da Galileo (contratto Marte supporto al SETA team di THALES Italia e FOC exploitation);

- d. Monitoring del timing di EGNOS, il sistema di completamento europeo al GPS (Contratto EGNOS monitoring con CNES, progetto H2020 GSA – GNSS Supervising Agency)
- e. Sviluppo del Galileo Time Service Provider, infrastruttura dedicata alla sincronizzazione della scala Galileo con UTC con la collaborazione degli istituti metrologici europei coordinati da INRIM. Lo sviluppo dell'infrastruttura avverrà nel 2017, dal 2018 inizieranno le operazioni nei centri di controllo del Fucino (I) e Monaco (D)

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. Sarà inoltre approfondita la sperimentazione della disseminazione di tempo su satellite Geostazionario in collaborazione con ANTARES e la capacità di rilevare anomalie sugli orologi di bordo (contratto ESA RRAFS)
- b. INRIM parteciperà inoltre alla Galileo Reference Center creato dai Member States, dal 2017 al 2020, per la validazione dei servizi di timing di Galileo a livello utente (contratto GRC –MS)

L'infrastruttura è stata finanziata dall'ESA e dalla comunità europea sia direttamente (senza bando di selezione), sia attraverso bandi competitivi. I finanziamenti finora ricevuti sono:

Anno	Fondi NON MIUR k€
2010	1254
2011	150
2012	76
2013	940
2014	400
2015	2000
2016	2500

LIFT - link italiano tempo e frequenza

L'infrastruttura di Tempo e Frequenza su Fibra (LIFT) permette una distribuzione innovativa di segnali di tempo e frequenza campione usando fibre ottiche commerciali. LIFT porta i segnali campioni dell'INRIM in diversi centri scientifici e industriali del paese con minimo degrado delle prestazioni, offrendo un sostanziale miglioramento delle prestazioni ottenibili mediante i sistemi satellitari più avanzati, sia in termini di accuratezza (da ns ai ps), di sicurezza (assenza di spoofing e jamming), ed in termini di tempi di misura (si riducono di quasi tre ordini di grandezza). 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 i presupposti per un sistema che dalla dorsale irraggi in siti secondari. Infine, LIFT sperimenterà sistemi ibridi fibra/ponti radio di ultimo chilometro per superare, anche nella metrologia di tempo, il digital divide italiano. È evidente la sinergia infrastrutturale tra LIFT e le realizzazioni future del Piano Nazionale per la Banda Ultra Larga. La medesima infrastruttura in fibra ottica potrà essere anche utilizzata per la sperimentazione di crittografia quantistica in campo reale.

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).

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).

MET-ITALIA Network nazionale delle misure

Il network nazionale delle misure MET-ITALIA promuove la valorizzazione delle competenze, dei laboratori e delle infrastrutture nazionali nell'ambito della scienza delle misure, creando complementarità e integrazione.

MET-ITALIA ha la finalità di incrementare, attraverso specializzazione S3 e sinergie, la partecipazione del Sistema Italia ai programmi di ricerca comunitari in sintonia con i capisaldi di Horizon 2020.

Gli obiettivi riguardano le applicazioni metrologiche di importanza strategica nazionale, per offrire capacità di misura e riferibilità al sistema produttivo nazionale, a supporto della competitività delle imprese e delle tecnologie manifatturiere e a garanzia del controllo di qualità di prodotti e servizi.

Per esigenze funzionali, l'INRIM prevede la creazione di unità operative, collocati nel centro-sud Italia, al fine di rafforzare la sua vocazione nazionale.

L'INRIM ha avviato la costituzione di unità operative sul territorio nazionale, con l'obiettivo di

- allargare il raggio di azione a temi di interesse tecnologico e scientifico in campo ottico, della salute e delle comunicazioni; energetico, nano-tecnologico, agro-alimentare e delle comunicazioni
- contribuire alla valorizzazione delle competenze tecnico-scientifiche e diventare polo di attrazione e richiamo per giovani laureati;
- costituire un supporto tecnologico di valenza internazionale a favore delle realtà produttive e industriali e per lo sviluppo delle S3 regionali.

Con la creazione di unità operative sul territorio, l'INRIM rafforza la rete nazionale delle misure, valorizzando le eccellenze esistenti nell'ambito della scienza delle misure.

L'allargamento della "base metrologica" del Paese a nuovi soggetti e nuovi temi di importanza strategica nazionale permetterà di accrescere la competitività e l'efficacia nell'attrarre i consistenti finanziamenti europei in ricerca metrologica. Sono state considerate le competenze già presenti sul territorio nazionale in particolare, nella Regione Toscana per la metrologia della frequenza, per la metrologia delle radiazioni elettromagnetiche alle frequenze del Terahertz e per la metrologia biomedicale, e nella Regione Basilicata per quanto riguarda la metrologia per l'ambiente, il bioagroalimentare, le applicazioni energetiche, lo spazio e la geodesia.

Il piano prevede:

1. Toscana sui temi:

- **metrologia per le radiazioni elettromagnetiche nella regione del Terahertz** nell'ambito homeland-security
- **metrologia biomedicale** per lo sviluppo dei riferimenti di misura per i biosegnali, l'ottica biomedica, la biomeccanica e la diagnostica MRI
- **link ottico nazionale**, come nodo di collegamento tra LIFT e LIFT+ per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza e tempo ad alta accuratezza, e per la gestione dell'anello di monitoraggio del mare Tirreno LIFT-UNDERWATER

2. Basilicata sui temi:

- **metrologia per l'ambiente** per assicurare la riferibilità delle misurazioni e la robustezza dei dati nel monitoraggio di parametri fisici atmosferici al suolo e nella troposfera
- **nanotecnologie applicate alla biochimica e all'agroalimentare** per lo sviluppo di dispositivi e metodi di misura e loro applicazione al campo agroalimentare e dell'agricoltura di precisione,
- Bio-economia mediante la tracciabilità alimentare e le misure di contaminazioni da elementi tossici nelle acque e nei cibi.
- **metrologia per le applicazioni energetiche** per il supporto e la riferibilità delle misure nella filiera di produzione degli idrocarburi fossili e nella caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche ed energetiche.

- **link ottico nazionale**, come nodo di collegamento tra LIFT+ e LIFT-SUD per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza e tempo ad alta accuratezza, e la sincronizzazione in fase dei Radiotelescopi di Medicina, Noto e Matera.

3. **Sicilia** sui temi:

- nodo di collegamento tra LIFT+ e LIFT-SUD per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza e tempo ad alta accuratezza, e la sincronizzazione in fase dei Radiotelescopi di Medicina, Noto e Matera
- nodo di collegamento tra LIFT-SUD e Malta per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza e tempo ad alta accuratezza con cross-border ITA-MALTA
- nodo di collegamento tra LIFT-SUD e LIFT-UNDERWATER, da Noto a Firenze, via Trapani, Cagliari e Olbia

Gli ambiti di intervento delineati nel progetto di costituzione di un Nodo Lucano della rete metrologica nazionale sono coerenti alla Strategia regionale di specializzazione intelligente (S3) individuata dalla mappatura di Invitalia, in particolare per i settori di energia e ambiente, chimica verde, micro/nano elettronica e agro-alimentare. La metrologia è una KET per la Regione Basilicata.

Lo sviluppo dei programmi di ricerca prevede un corrispondente sviluppo progressivo di occupazione knowledge-based di alto livello per laureati in discipline scientifiche e tecnologiche. Lo sviluppo dei temi scientifici richiederà una corrispondente azione di inserimento di ricercatori, tecnologi e tecnici qualificati nelle strutture di ricerca, nella convinzione che ricerca metrologica e le sue applicazioni richiedano, da un lato una solida preparazione di base ed una formazione di alto livello scientifico e tecnologico, dall'altro una continuità operativa per assicurare l'impiego efficiente e la funzionalità di strutture complesse.

Nanofacility Piemonte

Nanofacility Piemonte INRiM è un laboratorio di nanofabbricazione per 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'impatto di tale struttura sulla produzione scientifica dell'INRiM e sul conseguimento di progetti EMRP non è stato trascurabile negli ultimi 6 anni, l'INRiM ha pertanto deciso di potenziarne la struttura e le capacità con l'upgrade di alcune apparecchiature che compongono il laboratorio.

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 nanoSQUIDS, 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.). 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.

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.

Attività di alta formazione

L'INRIM collabora alle attività formative istituzionali svolte dalle università. Tale collaborazione si esercita attraverso convenzioni e accordi quadro, o attraverso la assegnazione a ricercatori INRIM di incarichi di insegnamento in corsi di laurea, master e dottorati di ricerca.

Numero totale di corsi di didattica universitaria (corsi di laurea, master) erogati	65
Numero totale di ore di didattica universitaria complessivamente erogate	1.500
Numero di ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti	42
Numero totale di corsi di dottorato in convenzione	10
Numero totale di studenti di dottorato attivi nell'anno	36
Numero di borse di dottorato erogate dall'ente nell'anno	5

Formazione continua e permanente

La formazione adulta è una componente fondamentale del lifelong learning. Per formazione continua e permanente si intendono tutte le attività formative rivolte a soggetti adulti, al fine di adeguare o di elevare il loro livello professionale; rientrano in questa categoria anche gli interventi formativi promossi dalle aziende in stretta connessione con l'innovazione tecnologica e organizzativa del processo produttivo.

Numero totale di corsi erogati	25
Numero totale di ore di didattica assistita complessivamente erogate	500
Numero totale di partecipanti	300
Numero di ricercatori e tecnologi coinvolti complessivamente	20
Numero di organizzazioni esterne coinvolte come utilizzatrici dei programmi	6
di cui imprese	2
di cui enti pubblici	2
di cui istituzioni no profit	2

Servizi conto terzi

Svolgimento di 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 sia a fini sociali.

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 2017-2019:

Anno	Numero di documenti emessi			
	Certificati di taratura	Rapporti di prova	Altri certificati e rapporti	Totale
2017	1.700	60	20	1.780
2018	1.650	70	30	1.750
2019	1.600	70	30	1.700

Attività di Public Engagement

Si intende l'insieme di attività senza scopo di lucro con valore educativo, culturale e di sviluppo della società. Tra le attività di Public Engagement dell'INRIM spiccano le seguenti:

- Partecipazione a comitati per la definizione di standard e norme tecniche: CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), CEN (Comitato Europeo di Normazione), IEC (International Electrotechnical Commission), UNI (Ente Italiano di Normazione);
- Iniziative di orientamento e interazione con le scuole di ogni ordine e grado + cittadinanza: "Bambini e bambine: un giorno all'università" (ITER-Comune To e Agorà scienza), "Le sfide della metrologia e l'evoluzione tecnologica" (Settimana della Scienza- Centroscienza), altre visite scuole + privati+ associazioni a richiesta, "Le Settimane a scuola" (visite con Centroscienza), "Formazione e pratica educativa della metrologia" (con MIUR-CESEDI-Rete Robotica), stage per studenti scuole superiori nell'ambito delle leggi sull'alternanza scuola/lavoro (L.197/96 e L.107/2015);
- Organizzazione di eventi pubblici: "Notte dei ricercatori" (evento promosso dalla CE attraverso i progetti di Horizon 2020 in molte città europee; collaborazione con Agorà Scienza e Centroscienza);
- Cicli di conferenze, Interviste e servizi radio-televisivi, Pubblicazioni divulgative, Rassegna stampa attraverso siti divulgativi: Conference course "Il Tempo della Scienza - Incontri del giovedì";
- Siti web divulgativi: Portale SI-MISURA (www.si-misura.it)

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, all'interno della quale sono presenti una Biblioteca storica e una collezione di strumenti scientifici legata alla storia della metrologia industriale.

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.

Numero totale di brevetti depositati nell'anno	2
Numero totale di brevetti per i quali nell'anno sia stata ottenuta la concessione	2

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) Capitale umano

L'INRIM, ente nato nel 2006 con una dotazione organica di 241 unità, a seguito delle successive manovre di contenimento della spesa pubblica, culminate nel 2012 con il DL 95/2012 convertito in Legge 135/2012, ha attualmente una dotazione organica di 217 unità.

La situazione di riferimento al 31 dicembre 2016 è riportata nella seguente tabella.

Tabella 10 – Personale in servizio al 31/12/2016

Profilo	Livello	Dotazione Organica	Personale in servizio a tempo indeterminato al 31-12-2016	Personale in servizio a tempo determinato al 31-12-2016
Dirigente I fascia		-	-	-
Dirigente II fascia		1	-	-
Dirigente di ricerca	I	10	8	-
Primo ricercatore	II	23	19	2
Ricercatore	III	52	51	7
Dirigente tecnologo	I	2	2	-
Primo tecnologo	II	8	8	-
Tecnologo	III	7	7	4
Collaboratore tecnico E.R.	IV	33	27	-
Collaboratore tecnico E.R.	V	15	13	-
Collaboratore tecnico E.R.	VI	19	18	2
Operatore tecnico	VI	11	8	-
Operatore tecnico	VII	5	5	-
Operatore tecnico	VIII	5	4	-
Funzionario di amministrazione	IV	4	2	5
Funzionario di amministrazione	V	1	1	-
Collaboratore di amministrazione	V	10	10	-
Collaboratore di amministrazione	VI	1	1	-
Collaboratore di amministrazione	VII	3	3	-
Operatore di amministrazione	VII	7	4	-
Operatore di amministrazione	VIII	-	-	-
Totale		217	189	20

Le spese di personale degli anni 2014, 2015 e 2016 risultano inferiori all' **80%** delle entrate correnti, come esplicitato nell'apposita tabella del presente piano.

Le posizioni a tempo determinato, pari a 20 unità al 31/12/2016, sono costituite da assunzioni effettuate a valere su programmi di ricerca oggetto di finanziamento diverso dal fondo ordinario dello Stato, in conformità a quanto disposto dall'art. 1, comma 188, della Legge 266/2005. La durata di tali contratti è coerente con la durata dei programmi di ricerca. E', inoltre, da precisare che il reclutamento è avvenuto mediante pubblico concorso espletato con le identiche modalità dei concorsi per l'assunzione del personale a tempo indeterminato.

7) Le risorse finanziarie

Le risorse finanziarie sono costituite tenendo conto delle seguenti indicazioni:

- per il 2017 le entrate di riferimento quelle indicate nel bilancio di previsione approvato dal Consiglio di Amministrazione in data dicembre 2016;
- l'entità del fondo ordinario statale è prevista in diminuzione per il 2017 e costante per il 2018;
- la prudenziale stima delle entrate per il 2017 per i contratti comunitari e per attività commerciali.

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

Tabella 11 – Disponibilità

Disponibilità	Esercizio 2017	Esercizio 2018	Esercizio 2019
Avanzo di amministrazione	10.000.000	10.000.000	10.000.000
Contributo ordinario del MIUR	17.000.000	17.000.000	17.000.000
Contributi MIUR per progetti di ricerca e attività di ricerca a valenza internazionale	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Contributi per la ricerca da parte della Regione Piemonte	300.000	300.000	300.000
Entrate per programmi comunitari e prestazioni di servizi	7.237.000	7.900.000	7.900.000
Altre entrate	1.000.000	990.000	990.000
TOTALE	39.537.000	40.190.000	40.190.000

Non considerando i contributi erogati dal MIUR (sia a titolo di FOE che di progetti premiali) l'autofinanziamento medio del triennio è previsto nel 38% circa delle disponibilità totali).

La previsione delle spese è riportata nella tabella seguente.

Tabella 12 – Spese

Spese	Esercizio 2017	Esercizio 2018	Esercizio 2019
Spese per il personale dipendente (TI e TD)	17.400.000	17.500.000	17.500.000
Spese di funzionamento (dirette e indirette)	11.255.000	10.808.000	10.808.000
Acquisto strumentazione e altre immobilizzazioni tecniche	7.005.000	7.505.000	7.505.000
Manutenzione straordinaria e realizzazione laboratori	2.000.000	2.500.000	2.500.000
Oneri tributari	500.000	500.000	500.000
Trasferimenti allo Stato dovuti per legge ed altri oneri	1.377.000	1.377.000	1.377.000
TOTALE	39.537.000	40.190.000	40.190.000

Le spese di personale sono comprensive degli oneri, dei benefici assistenziali e sociali, dell'IRAP per il personale dipendente e delle quote di indennità di anzianità al personale cessato al servizio.

Gli oneri tributari comprendono spese per imposte e tasse e IRAP per personale esterno (borse di addestramento alla ricerca) e altri collaboratori o esterni a vario titolo.