

PIANO TRIENNALE DI ATTIVITA' 2021-2023

Approvato dal CdA il 22 dicembre 2020

INDICE

Premessa	5
PARTE I: EXECUTIVE SUMMARY	7
1 – L'ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA: LA MISSIONE, L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA, L'ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE	9
1.1 - LA MISSIONE.....	9
1.2 - L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA	10
1.3 - L'ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE	11
2 – L'APPROCCIO SCIENTIFICO E LE STRATEGIE PER IL TRIENNIO	12
3 – LE RISORSE UMANE E IL PIANO DEL FABBISOGNO	17
4 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG).....	18
5 – GRUPPO DI LAVORO PER L'OPEN SCIENCE (OS)	21
6 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE.....	23
7 – LE RISORSE FINANZIARIE	24
PARTE II: RELAZIONE COMPLESSIVA.....	27
8 – L'ATTIVITÀ DI RICERCA: PRIORITÀ E OBIETTIVI STRATEGICI DELLE DIVISIONI.....	29
8.1 - LA DISTRIBUZIONE DEI MESI - PERSONA	29
8.2 - METROLOGIA DEI MATERIALI INNOVATIVI E SCIENZE DELLA VITA (ML)	32
8.3 - METROLOGIA APPLICATA E INGEGNERIA (AE)	41
8.4 - METROLOGIA QUANTISTICA E NANOTECNOLOGIE (QN)	54
9 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA	67
9.1 - EURAMET - EUROPEAN METROLOGY PARTNERSHIP (EMP)	67
9.2 - EURAMET - EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)	68
9.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE	72
9.4 - ITALIAN QUANTUM BACKBONE (IQB) – DORSALE QUANTISTICA ITALIANA	75
9.5 - NANOFACILITY PIEMONTE	76
9.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET)	77
9.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA)	78
10 – QUADRO DELLE COLLABORAZIONI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA E DELLE PARTECIPAZIONI.....	81
10.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI	82
10.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI	84
11 – LE PUBBLICAZIONI	90
12 – SERVIZI ATTIVITÀ CONTO TERZI	94
13 – I PROGETTI.....	97
14 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE	105
14.1 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: L'UFFICIO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO (UTT)	105
14.2 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: ATTIVITÀ DI SUPPORTO AD ACCREDIA	110
14.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA	113
14.4 - ATTIVITÀ DI COINVOLGIMENTO CULTURALE E SOCIALE: IL PUBLIC ENGAGEMENT E LA COMUNICAZIONE	113
14.5 - L'ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE	116
PARTE III: SCHEDE DI DETTAGLIO	119
Divisione “Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)”	121
Divisione “Metrologia applicata e ingegneria (AE)”	143
Divisione “Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)”	169

TABELLE

Tabella 1 - Disponibilità	25
Tabella 2 - Spese	25
Tabella 3 - Distribuzione dei mesi-persona secondo la categorizzazione indicata dall'ANVUR	29
Tabella 4 - Distribuzione dei mesi-persona nelle Divisioni	30

Premessa

In base al d.lgs. 218/2016, l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica adotta, in conformità con le linee guida enunciate nel Programma nazionale della ricerca (PNR), un Piano Triennale di Attività, aggiornato annualmente e approvato dal Ministero vigilante, con il quale determina autonomamente anche la consistenza e le variazioni dell'organico e la programmazione per il reclutamento, nel rispetto dei limiti in materia di spesa per il personale.

Il PTA dell'INRiM offre un quadro sintetico della programmazione istituzionale, tesa alla valorizzazione delle attività di ricerca, del ruolo e delle attività proprie dell'Ente in quanto National Metrology Institute (NMI), nonché di tutte le attività di terza missione al servizio della società e dell'industria; vengono illustrati anche i principali risultati ottenuti dalle attività scientifiche e tecnologiche nel 2020.

La stesura del documento è orientata secondo i seguenti principi:

- la suddivisione delle attività nelle tre classi descritte nelle “Linee Guida ANVUR per la gestione integrata del Ciclo della Performance degli Enti Pubblici di Ricerca”, pubblicate da ANVUR a luglio 2015, ovvero:
 - Ricerca Scientifica
 - Ricerca Istituzionale
 - Terza Missione
- le “Linee guida per la Valutazione degli Enti Pubblici di Ricerca a seguito del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, n. 218” approvate con delibera del Presidente ANVUR n. 11 del 9/6/2017, completate da quanto indicato da pag. 118 a pag. 126 dell'Allegato 1 della delibera ANVUR (Contributi enti per censimento attività) concernente le attività istituzionali dell'INRiM;
- le “Linee di indirizzo per la predisposizione dei piani di fabbisogno di personale da parte delle Pubbliche Amministrazioni” emanate dal Ministero per la semplificazione e la pubblica amministrazione in data 8 maggio 2018.

Il documento è costituito dalle tre seguenti sezioni:

Parte I – Executive Summary, dove sono presentati la missione, l'assetto organizzativo e la struttura scientifica dell'Istituto, per proseguire poi con la strategia scientifica dell'INRiM, il quadro delle risorse umane e del fabbisogno del personale, la formazione ed infine la presentazione di due nuovi gruppi di lavoro (CUG e Open Science).

Parte II - Relazione complessiva, che contiene la presentazione delle attività scientifiche delle Divisioni e delle infrastrutture, il quadro delle collaborazioni e delle interazioni con gli attori della rete della ricerca, le pubblicazioni e i servizi attività conto terzi, i progetti di ricerca e le attività di terza missione e di servizio alla società.

Parte III – Schede di dettaglio, in cui sono riportati in modo più dettagliato i contributi dei Settori Scientifici Omogenei (SSO) che compongono le Divisioni.

Il PTA dell'INRiM è annualmente deliberato dal Consiglio di Amministrazione e trasmesso al Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca, ai sensi dell'art. 7 del D. LGS. 218/2016.

PARTE I: EXECUTIVE SUMMARY

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

1.1 - LA MISSIONE

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

L'INRiM svolge e promuove la ricerca nell'ambito della metrologia, sviluppa i campioni ed i metodi di misura più avanzati e le relative tecnologie, mediante i quali assolve alle funzioni di istituto metrologico primario ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273. A tal fine, in qualità di firmatario degli accordi internazionali sulla metrologia, anche su delega delle Istituzioni competenti, e analogamente agli istituti metrologici degli altri Paesi, l'INRiM realizza e mantiene i campioni nazionali per le unità di misura necessari per la riferibilità e il valore legale delle misure nei settori dell'industria, del commercio, della ricerca scientifica, della salvaguardia della salute e dell'ambiente, nonché per le necessità di misura in campo giudiziario e per qualsiasi altro settore in cui gli alti contenuti scientifico-tecnologici propri della ricerca metrologica trovino ricadute applicative di interesse. L'INRiM inoltre valorizza, diffonde e trasferisce conoscenze e risultati nella scienza delle misure e nella ricerca sui materiali allo scopo di favorire lo sviluppo tecnologico nazionale e il miglioramento della qualità della vita e dei servizi per il cittadino.

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

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

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

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

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

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

Il Piano di fabbisogno del personale 2021-2023, presentato nelle pagine che seguono, risponde a questa logica; innanzitutto per riportare la consistenza del personale dell'ente ad un livello paragonabile a quanto previsto al momento della sua istituzione, ipotizzando nel triennio una ulteriore, ma contenuta, dinamica espansiva.

1.2 - L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA

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

Organi di Indirizzo politico-amministrativo:

Presidente
Consiglio di Amministrazione

Organi di indirizzo scientifico:

Consiglio Scientifico
Direttore Scientifico
Direzione Scientifica

Organi di Controllo:

Collegio dei Revisori

Il modello strutturale di organizzazione e funzionamento si articola in:

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

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

Divisioni, per lo svolgimento dei programmi tecnico-scientifici.

Sulla base della nuova articolazione delle strutture tecnico scientifiche, in vigore a partire dal 1 gennaio 2019, le tre Divisioni dell'INRiM sono:

Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)

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

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

Metrologia applicata e ingegneria (AE)

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

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

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

Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

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

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

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

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

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

1.3 - L'ARTICOLAZIONE TERRITORIALE E LE INFRASTRUTTURE

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

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

La sede principale dell'INRiM è situata nel quartiere Mirafiori Sud, in un campus di 130 000 m², un'area verde all'interno del parco Colonnetti che ospita gli uffici e i laboratori dell'Istituto. Il campus è composto da 13 edifici fuori terra e da una struttura completamente interrata (galleria), che sviluppano nel loro complesso una superficie utile di 37.000 m². La proprietà dell'intera area è del Comune di Torino e il diritto di superficie scadrà nel 2077. I laboratori adibiti alle diverse attività di ricerca e ai servizi di taratura, misura, prova e certificazione coprono il 70% della superficie utile. Il restante 30% è destinato a uffici, biblioteca, amministrazione, officine, servizi e infrastrutture di supporto alle attività. Nel 2020 importanti lavori di trasformazione hanno interessato la palazzina un tempo dedicata all'officina centralizzata e alle manutenzioni, e ora destinata ad ospitare un importante laboratorio di ricerca costituito da oltre 400 mq di "Camera pulita".

La sede storica di Corso Massimo D'Azeglio (al confine con il parco del Valentino, nel quartiere San Salvario) ha una superficie di 11.000 m², dedicati a numerosi uffici e laboratori, oltreché alla Biblioteca Storica. Qui svolgono la loro attività, all'interno del Laboratorio alte tensioni e forti correnti (LATFC), alcune unità di personale dell'INRiM; alcuni locali invece sono stati concessi in "locazione" all'Università di Torino mentre altri in "comodato d'uso" al Politecnico di Torino.

2 – L'APPROCCIO SCIENTIFICO E LE STRATEGIE PER IL TRIENNIO

Si intende portare in approvazione il Piano Triennale di Attività (PTA) 2021-2023, prima dell'inizio del triennio di riferimento, in modo da rimarcare l'aspetto programmatico del PTA stesso. Infatti è molto importante restituire al PTA il significato di documento chiave per definire il percorso per raggiungere gli obiettivi scientifici e tecnici dell'Istituto, tenendo conto delle risorse disponibili, delle condizioni al contorno, delle attività da intraprendere e dei tempi necessari per realizzarle. In questo senso, il PTA deve essere uno strumento di tattica, ossia un metodo di lavoro per conseguire degli obiettivi definiti dal documento di visione decennale. Inoltre l'indicazione degli obiettivi scientifici dell'Istituto aiuta anche la Direzione Generale a preparare di conseguenza il Piano della *performance* (art. 10 c. 1 lett. a d.lgs. 150/2009), che deve essere stilato entro il 31 gennaio di ogni anno.

Il punto di partenza è rappresentato dalle risorse disponibili, sia in termini di personale che economiche. Alla fine del 2020, sono emersi con chiarezza i vantaggi, gli impegni e le opportunità del piano intrapreso dall'Istituto nel 2018, che era teso ad un consistente aumento dell'organico dell'Ente, in modo da potenziare il ruolo dell'Istituto nel contesto nazionale ed internazionale, anche tenendo conto delle proporzioni economiche della Nazione rispetto al contesto europeo, e rafforzare la missione distintiva dell'Istituto rispetto ad altre istituzioni di ricerca. Questo piano ha consentito l'assunzione di 57 colleghe/i, di cui 36 afferenti alla Direzione Scientifica, a fronte di 19 pensionamenti nel medesimo arco temporale (realizzando una triplicazione del *turn-over*). Inoltre l'Istituto ha fatto dei consistenti investimenti in attrezzature, sotto forma (a) di grandi infrastrutture di ricerca, co-finanziate da soggetti esterni, (b) delle tre proposte risultate vincitrici nel "Bando interno degli investimenti 2020", e (c) delle attrezzature acquistate nel 2020 con il fondo dedicato delle Divisioni. Nel medesimo periodo, purtroppo, sono venuti a mancare i finanziamenti della quota premiale del fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca pubblici vigilati dal Ministero dell'Università e della Ricerca (FOE). Quindi, a fronte di consistenti spese per personale ed attrezzature, la contrazione dei fondi ministeriali, almeno di quelli premiali, sta delineando un quadro economico che richiede un cambio di paradigma nella gestione scientifica. Con il presente Piano si intende dare avvio ad un processo di riflessione, condiviso da tutti gli Organi dell'Istituto nell'ambito delle rispettive competenze, teso proprio alla definizione di un nuovo paradigma sostenibile di gestione scientifica. Come conseguenza, le attività previste nel presente Piano e che ancora si basano sul vecchio paradigma, potranno essere aggiornate coerentemente. Nel seguito, si intende fornire qualche elemento di riflessione, senza la presunzione di poter esaurire completamente questo obiettivo. È difficile immaginare di poter continuare a sostenere le attività scientifiche e tecniche con risorse proprie dell'Istituto, che sono state concentrate su personale ed attrezzature. Viceversa, questi due investimenti in personale ed attrezzature rappresentano delle opportunità per aumentare la capacità di attrazione di risorse esterne, sia sotto forma di maggiori progetti finanziati che di partenariati stabili con soggetti finanziatori esterni, tesi al raggiungimento di obiettivi comuni e che vadano oltre l'elargizione estemporanea. In questo senso, la riallocazione di una parte di queste risorse esterne può essere usata per (a) perseguire logiche di perequazione, (b) sostenere oculatamente e temporaneamente attività meno remunerative e (c) promuovere l'avviamento di collaborazioni con altre istituzioni di ricerca nell'ottica di realizzare la loro sostenibilità. Ovviamente questo nuovo paradigma nella gestione scientifica richiederà, rispetto al passato, anche una maggiore attenzione nella gestione amministrativa delle risorse e, in particolare, il fatto che quest'ultima si doti di strumenti più efficaci di raccolta ed analisi dei dati, unitariamente alla capacità di generare degli scenari di previsione pluriennali per capire bene l'impatto delle scelte adottate. Tanto per fare un esempio concreto, nella contabilità economico-patrimoniale, è essenziale poter valutare con attenzione l'impatto sul lungo periodo dell'assunzione

di nuovo personale e l'impatto delle quote di ammortamento delle attrezzature scientifiche, che possono essere calcolate su archi temporali più lunghi degli usuali cinque anni per le attrezzature generiche.

Il precedente cambio di paradigma nella gestione scientifica avverrà in contemporanea con il cambio dei programmi metrologici europei. Infatti, nel 2021, nell'ambito del nuovo programma europeo di ricerca Horizon Europe (2021-2027), inizierà un nuovo programma di ricerca settennale focalizzato sulla metrologia, denominato *European Metrology Partnership* (EMP). Questo programma sarà organizzato in accordo all'art. 185 del trattato di Lisbona, diretto da EURAMET, e sarà finanziato al 50% da fondi comunitari e al 50% dagli Stati aderenti all'iniziativa, per un ammontare complessivo di 700 M€. Il programma pubblicherà bandi per progetti di ricerca annualmente sui seguenti temi: *Green Deal*, Industria, ricerca fondamentale in metrologia, integrazione della metrologia europea, normative, salute e sviluppo di potenziali di ricerca nei piccoli istituti metrologici. I partner metrologici potranno partecipare ai progetti mediamente con il 60%, mentre i partner esterni avranno a disposizione il 40% dei fondi. L'Italia si è impegnata a co-finanziare la EMP con 49 M€, permettendo quindi un sostanziale raddoppio della partecipazione rispetto al programma precedente. Il co-finanziamento nazionale all'EMP deve essere fornito in parte in denaro, ed in parte come rendicontazione di spese sostenute dagli istituti. Questo implicherà un importante impegno amministrativo da parte dell'Ente, che – come detto – dovrà dotarsi di strumenti sempre più efficaci per la raccolta e l'elaborazione dei dati economici. D'altro canto però la *partnership* rappresenta un'opportunità imperdibile per valorizzare il personale dell'Istituto nel perseguire gli obiettivi di *Horizon Europe*, che sono stati recepiti anche dal Piano Nazionale della Ricerca (PNR) ed anzi sarebbe auspicabile un potenziamento da parte del Ministero a supporto di questa azione. Nei prospetti di seguito, sono stati evidenziati i chiari punti di sinergia (a) tra la EMP e gli ambiti strategici del PNR 2021-2027, e (b) tra questi ultimi e le sei aree prioritarie del documento decennale di visione strategica di INRiM (<https://www.inrim.it/vision>).

Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027		
AMBITO #5: Clima, Energia, Mobilità sostenibile	AMBITO #1: Salute	AMBITO #4: Digitale, Industria, Aerospazio
Green Deal (call EMP 2021, 2024 e 2027)	Health (call EMP 2022, 2025)	Industry (call EMP 2023, 2026)
PRIORITÀ #3: Consolidare la ricerca fondamentale Fundamental Metrology (Call EMP 2023, 2026)		
PRIORITÀ #1: Promuovere la dimensione internazionale dell'Alta Formazione e della Ricerca → Horizon Europe → European Metrology Partnership (EMP) 2021-2027 → Integrated European Metrology (Call EMP 2022, 2025)		



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



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

- monitorare l'ambiente e supportare lo sviluppo di tecnologie pulite;
- promuovere la conversione sostenibile dell'energia ed il suo immagazzinamento pulito;
- sostenere la qualità della vita e della salute;
- accelerare la trasformazione digitale e supportare le relative transizioni industriali;
- sviluppare la tecnologia per le applicazioni spaziali e la relativa ricerca;
- migliorare la qualità e l'impatto della ricerca scientifica fondamentale.

Nel documento di visione, ciascuno dei temi precedenti viene sviluppato con esempi concreti di attività in essere da potenziare e di attività nuove da avviare.

AZIONE #1. Il documento di visione strategica intende superare un elemento di debolezza storico dell'Istituto, ossia la sua frammentazione ed il suo impegno su troppi fronti, sia di ricerca che metrologici, evidenziando sei aree strategiche da perseguire, rafforzando alcune attività in essere a discapito di altre. È chiaro che oggettive difficoltà operative, unite alla forza della consuetudine ed al timore per le novità, rappresentano delle resistenze inerziali molto forti, che possono essere affrontate solo con azioni coordinate e condivise di Presidenza, Consiglio di Amministrazione (CdA), Direttore Generale, Direttore Scientifico e Responsabili di Divisione, ciascuno per i propri ruoli e le proprie responsabilità, su di un orizzonte temporale almeno di cinque anni per poter vedere i primi risultati. La necessità di riconsiderare l'attività (scientifica e strumentale) è ben presente al personale e quindi, se condotta con la dovuta trasparenza e la necessaria correttezza istituzionale, potrebbe rappresentare un'opportunità per rilanciare l'entusiasmo di colleghe/i e quindi anche la produttività in alcune aree dell'Istituto. Per poter fare delle scelte consapevoli ed oggettive, è indispensabile costruire prima un quadro della situazione dell'Istituto, una sorta di fotografia, rispetto alle sue due missioni principali, tenendo conto di parametri oggettivi (es. numerosità delle persone coinvolte, numero di pubblicazioni e loro qualità bibliometrica, numero di

certificati e loro impatto reale sul sistema produttivo, volume di finanziamenti esterni e loro impatto sulla crescita scientifica e tecnica dell'Istituto, etc). Ovviamente la costruzione di un quadro serio non può prevedere l'eccellenza per tutte le attività, altrimenti non ci sarebbe un problema di frammentazione e sostenibilità, e quindi dovrà essere un quadro di eccellenza vincolata (es. secondo categorie A, B, C, D che sono progettate in modo che almeno il 10% delle attività ricada nella categoria D). Ovviamente l'identificazione delle attività meno strategiche è funzionale all'avviamento di un percorso di accompagnamento finalizzato al riallineamento del personale e delle dotazioni strumentali su attività a maggiore potenziale, in linea con il documento decennale di visione strategica di INRiM. L'Istituto non può permettersi di lasciare nessuno indietro, neppure nel senso di abbandonare personale e strumentazione su parabole di attività che hanno esaurito la loro spinta propulsiva. Tale azione è intesa anche per rafforzare le attività in cui si può puntare davvero all'eccellenza, non solo a livello nazionale ma soprattutto a livello europeo, in modo da realizzare quella caratterizzazione e quella integrazione degli istituti metrologici europei auspicata da EURAMET.

AZIONE #2. Un nuovo documento di visione strategica richiede necessariamente di poter avviare nuove attività considerate rilevanti o almeno promettenti. Qui non si possono ovviamente ignorare le strategie e gli obiettivi dei soggetti finanziatori, come pure la presenza di istituzioni di ricerca già molto attive in tutte le tematiche strategiche del documento di visione. È ovvio che, in questi contesti, la metrologia deve essere vista al servizio di altre aree applicative e quindi è indispensabile promuovere umilmente collaborazioni con soggetti esterni, in modo da poter ritagliare un ruolo costruttivo per la metrologia, cimentandosi in nuove sfide metrologiche, ma che siano realmente rilevanti per i soggetti più impegnati nelle applicazioni. L'idea non è quella di superare le istituzioni interessate nelle applicazioni sul loro terreno, perché sarebbe totalmente irrealistico, bensì quello di mettere in evidenza il valore aggiunto dato dalla ricerca metrologica. Chiaramente è importante dotare la Direzione Scientifica di risorse minimali per poter almeno avviare delle nuove collaborazioni con i soggetti esterni in modo da poter esplorare diversi contesti in parallelo e valutare, ex-ante ed ex-post, le collaborazioni più promettenti.

AZIONE #3. Viviamo in un mondo competitivo, indipendentemente dal fatto che questo risponda alle nostre aspirazioni ideali o no. Il mercato mondiale della ricerca si arricchisce continuamente di soggetti internazionali in costante, sistematica crescita (es. Cina) e nuovi protagonisti dalla crescita impressionante (es. Singapore). Ignorarli non migliorerà la collocazione internazionale dell'Istituto e neppure la sua attrattività, purtroppo. Pertanto è essenziale aumentare la qualità bibliometrica delle pubblicazioni di ricerca e quella citazionale e/o di accesso delle pubblicazioni strettamente metrologiche. Questo obiettivo, che sembra meramente ragionieristico, nasconde un grande tema, di nuovo, di collocazione internazionale delle attività dell'Istituto. Infatti, nonostante le fondate critiche al processo della bibliometria ed i conseguenti tentativi di miglioramento, un'analisi dei lavori più citati della letteratura scientifica evidenzia anche necessariamente i filoni più attivi, affascinanti e promettenti della comunità internazionale. Inoltre la diffusione dei risultati della ricerca è un nostro preciso dovere, ma non può prescindere da una seria valutazione dell'interesse suscitato nella comunità internazionale dalle nostre attività, in modo da scongiurare qualunque rischio di auto-referenzialità. Ovviamente questo imperativo alla disseminazione si sposa con l'impegno dell'Istituto a promuovere la Scienza Aperta tramite il Gruppo di Lavoro Open Science. La Scienza Aperta infatti promuove una ricerca responsabile e di qualità, collaborativa e trasparente in tutti i suoi stadi – dalla produzione dei risultati alla validazione, disseminazione e valutazione degli stessi – grazie alla condivisione della conoscenza sempre più immediata e ampia resa possibile dalle tecnologie digitali.

Parlando di qualità della ricerca metrologica e del dovere di emergere in un contesto competitivo, non deve sorprendere il riferimento all'importanza di aumentare il finanziamento da parte di soggetti industriali. Ovviamente la rilevanza di questo aspetto nell'ambito del quadro economico dell'Ente è già stata evidenziata. Inoltre è chiaro che non tutti i soggetti industriali sono necessariamente portatori di qualità ai fini della ricerca metrologica, che è la nostra vocazione. Tuttavia l'ottenimento di un accordo industriale ampio e strutturato è spesso indicatore delle seguenti evidenze: (a) riconoscimento della qualità delle attività svolte dall'Istituto; (b) rilevanza del tema per il soggetto industriale disposto ad investire un'ingente quantità di risorse nella risoluzione di un problema non semplice; (c) disponibilità dell'Istituto a cimentarsi in tematiche complesse, nuove e secondo modalità impegnative, anche in termini di impegno e tempistiche strette. Il dover sottostare a carichi di lavoro onerosi e con tempistiche stringenti non rappresenta una limitazione della libertà di ricerca, perché quest'ultima si esercita nella scelta degli interlocutori industriali più pertinenti per una certa tematica e per la realizzazione di un certo percorso di crescita personale. Viceversa la libertà della ricerca non dovrebbe essere interpretata come una scusante per sottrarsi all'opportunità di esplorare lo stato dell'arte industriale, almeno nei contesti più applicativi della ricerca metrologica.

AZIONE #4. Il tema trasversale che soggiace a tutte le tre azioni precedenti è il tema del personale. La selezione di personale eccellente e il riconoscimento del merito, al di là di ogni strumentale retorica a questo proposito, sono gli elementi chiave per muoversi nella direzione giusta. Questo richiede la maggiore apertura possibile, compatibilmente con le situazioni di necessità contingente, della platea di partecipanti ai concorsi pubblici, secondo criteri che risultino non penalizzanti per chi si avvicina alla ricerca metrologica arrivando da percorsi eccellenti attigui. La selezione dei ricercatori deve premiare le capacità scientifiche ed i risultati in modo trasversale e generale all'interno di un settore disciplinare omogeneo. Inoltre è opportuno chiarire i ruoli di ricercatore e tecnologo, oggi confusi. Un ricercatore deve cimentarsi laddove non ha (ancora) le competenze, accettando i rischi. Un tecnologo deve svolgere attività professionali consolidate, che richiedono competenze elevate già acquisite e aggiornamento continuo. Selezione, formazione e progressione di carriera devono riflettere queste differenze e valutare risultati diversi.

L'attività di ricercatori e tecnologi va valutata alla luce dei risultati conseguiti, mediante momenti espliciti di valutazione interna in itinere ed ex-post delle attività, al fine di costruire una credibilità scientifica e tecnica da tenere presente nell'attribuzione interna di finanziamenti, ruoli, incarichi, risorse umane e infrastrutturali, dottorandi e post-doc. Tanto per fare alcuni esempi, colleghe/i con ruoli di responsabilità delle grandi infrastrutture di ricerca e delle proposte risultate vincitrici nel "Bando interno degli investimenti 2020" dovrebbero essere soggette/i a verifiche ex-post dei risultati conseguiti con queste risorse dell'Istituto, che sono state loro affidate, nell'ottica di aggiornare la loro credibilità scientifica e tecnica in vista di future azioni strategiche dell'Istituto.

3 – LE RISORSE UMANE E IL PIANO DEL FABBISOGNO

Il Piano del Fabbisogno 2021-2023 verrà portato all'attenzione degli Organi a valle dell'approvazione del Bilancio Consuntivo 2020, anche tenendo conto del fatto che il precedente Piano (2020-2022) è stato approvato dal Consiglio di Amministrazione del 23 luglio 2020 con deliberazione n. 33/2020/6.

4 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG)

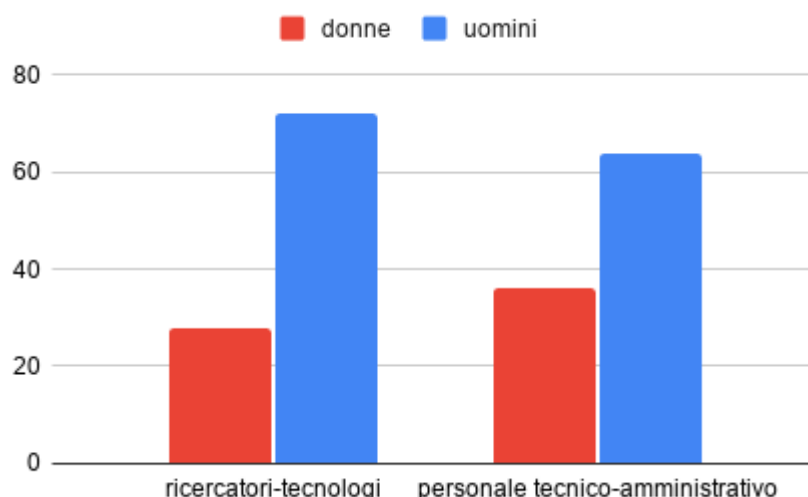
La parità di genere è un diritto fondamentale sancito dalla Costituzione italiana, un obiettivo dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile per le persone, il pianeta e la prosperità, e una condizione necessaria per il conseguimento degli obiettivi europei in materia di crescita, occupazione e coesione sociale. La necessità di porre in essere strumenti di equilibrio nel mondo lavorativo è oggetto di numerosi atti di normazione e di sensibilizzazione: tra gli altri, di particolare rilievo per un ente di ricerca come INRiM, vi è la raccomandazione della Commissione Europea dell'11/3/2005 riguardante la Carta europea dei ricercatori, nella quale l'attenzione è particolarmente focalizzata sul potenziamento della presenza femminile nella ricerca, l'eliminazione dei comportamenti discriminatori da parte dei datori di lavoro e/o dei finanziatori dei progetti di ricerca, sia nella fase della costituzione del rapporto di lavoro sia nelle successive fasi di sviluppo professionale. A seguito di ulteriori direttive europee in tale ambito, è stato adottato nell'ordinamento giuridico italiano il **Codice delle pari opportunità tra uomo e donna** (D. Lgs. n. 198/2006), il quale individua e definisce le azioni positive quali *“misure volte alla rimozione degli ostacoli che di fatto impediscono la realizzazione di pari opportunità, nell'ambito della competenza statale, dirette a favorire l'occupazione femminile e realizzare l'uguaglianza sostanziale tra uomini e donne nel lavoro”* (Art. 42).

L'INRiM, ai sensi dell'art. 21 della Legge n. 183/2010 e con Decreto del Direttore Generale 213 del 20/12/2019, ha costituito il Comitato Unico di Garanzia (CUG) il cui funzionamento è conforme alla direttiva emanata dai Dipartimenti della Funzione Pubblica e per le Pari Opportunità del 4 marzo 2011. Il CUG lavora in stretto raccordo con il vertice amministrativo dell'Istituto, monitorando l'operatività generale dell'Ente negli ambiti di sua competenza e, in tale ottica, redige, in linea con le disposizioni normative, il Piano Triennale di Azioni Positive. Quello adottato dall'INRiM, per la prima volta nel 2019, ha lo scopo di produrre programmi, azioni concrete e iniziative tese a prevenire ogni forma di discriminazione e a rimuovere gli ostacoli alla piena ed effettiva parità di opportunità.

Il perseguimento di tali scopi deve essere un obiettivo primario per gli enti di ricerca, per il quale è indispensabile e auspicabile un intervento a livello nazionale su almeno due piani. Il primo è il superamento degli stereotipi di genere in essere nell'istruzione, nella formazione e nella cultura, che proiettano spontaneamente donne e uomini a seguire percorsi educativi e formativi diversi: in quest'ottica si colloca il progetto internazionale dell'ONU “Women and Girls in Science”, nell'ambito del quale l'INRiM aderirà alla *Giornata internazionale delle donne e delle ragazze nella scienza*, promossa dalle Nazioni Unite il giorno 11 febbraio.

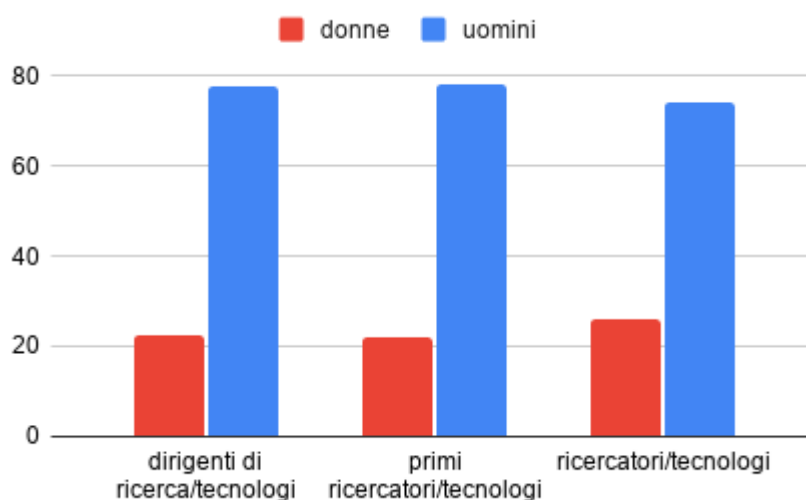
Il secondo riguarda la necessaria promozione delle pari opportunità per le carriere delle donne e degli uomini nel mondo accademico e della ricerca, forti anche della consapevolezza che la partecipazione femminile in ambiti dove le donne sono attualmente poco presenti, come quelli scientifici e tecnologici (STEM fields: Science, Technology, Engineering and Mathematics), può contribuire ad aumentare l'innovazione, la qualità e la competitività della ricerca scientifica e industriale. Su questo versante l'INRiM, in stretta collaborazione con il CUG, riconosce la tutela delle pari opportunità tra i propri obiettivi fondamentali e si impegna a rimuovere qualsiasi forma di discriminazione ed a promuovere pari opportunità e parità di genere, rafforzando la tutela delle/dei dipendenti e garantendo l'assenza di qualunque forma di violenza morale o psicologica e di discriminazione.

L'INRiM riconosce nella diversità un valore aggiunto alla propria cultura organizzativa, per questo pone particolare attenzione alla valorizzazione di queste diversità, intraprendendo azioni che vadano a eliminare ogni forma di discriminazione, diretta e indiretta, relativa al genere, all'età, all'orientamento sessuale, all'origine etnica, alla disabilità, alla religione e alla lingua, oltre a supportare la pari opportunità lavorativa, garantendo forme di non discriminazione di profilo professionale nella carriera.



Percentuali delle componenti di genere del personale INRiM nei ruoli di ricercatore/tecnologo e tecnico amministrativo (dati al 31/12/2019).

Per quanto riguarda il personale nei ruoli di ricercatore e tecnologo, per un totale di 150 unità, i dati INRiM indicano che sono impiegati uomini per il 72% e donne per il 28%, mentre il personale nei ruoli tecnici e amministrativi, pari a 116 unità, risulta suddiviso in 36% di donne e 64% di uomini.



Distribuzione percentuale delle posizioni da Dirigente, Primo Ricercatore/Primo Tecnologo, Ricercatore/Tecnologo tra uomini e donne (dati al 31/12/2019).

Analizzando i ruoli di ricercatore/tecnologo si nota che le posizioni di Ricercatore/Tecnologo sono occupate per il 26% da donne, mantenendo un valore comparabile nei livelli apicali per i quali le Dirigenti di Ricerca/Tecnologhe rappresentano il 22% del totale.

Questa analisi, per quanto fornisca uno scenario di transizioni ai livelli apicali privo di discriminazione di genere, deve necessariamente essere di stimolo per analizzare e superare le difficoltà che eventualmente sono di ostacolo all'attuale presenza equilibrata di genere nella fascia base dei Ricercatori/Tecnologi. Si consideri, inoltre, che proprio il contributo della presenza femminile nelle materie di ricerca dell'area STEM è individuato come attività primaria dell'UNESCO, che opera da anni con azioni di portata internazionale per la promozione dell'uguaglianza di genere nel mondo del lavoro. La necessità di tali azioni è confermata dal

Global Gender Gap Report 2020 che il World Economic Forum redige ogni anno per quantificare la disparità basata sul genere.

L'INRiM mette in atto importanti azioni positive per favorire un paritario impegno del "tempo lavoro", tra cui si devono necessariamente menzionare la concessione, laddove necessario, di postazioni di Telelavoro e l'approvazione del Disciplinare sul Lavoro agile (c.d. Smart Working), istituzione opportunamente modulata per gestire la situazione pandemica contingente.

Allo scopo di favorire l'incremento delle quote di genere nei ruoli/organizzazione, che costituisce uno dei fini primari del CUG dell'INRiM, diventa indispensabile l'attuazione degli strumenti descritti nel Piano di Azioni Positive.

In particolare, per migliorare la conoscenza del contesto organizzativo e del livello effettivo di pari opportunità all'interno dell'INRiM, risulta fondamentale raccogliere, studiare ed analizzare in ottica di genere i dati relativi alla distribuzione del personale nei diversi ruoli, ai percorsi di carriera e alle condizioni di lavoro, nonché mantenere un costante monitoraggio del benessere lavorativo.

Inoltre l'INRiM si propone di favorire il rispetto del linguaggio di genere nella comunicazione e negli atti amministrativi dell'Ente, al fine di garantire le pari opportunità e di proporre interventi volti ad accrescere la cultura delle pari opportunità. Tutto ciò deve avvenire in un'ottica non discriminatoria e di conciliazione dei tempi di vita e di lavoro, attraverso iniziative formative e informative rivolte al personale direttivo e a momenti di sensibilizzazione di tutto il personale.

Sempre in quest'ottica risulta essere in fase di redazione, anche grazie all'attività del CUG, una guida alla genitorialità indirizzata sia al personale dipendente sia a quello ancora in formazione e con contratti transitori (i.e. assegnisti di ricerca) nell'ottica di semplificare e rendere disponibili tutta la normativa relativa alla genitorialità, sottolineando diritti e obblighi dei lavoratori dell'INRiM in tale ambito.

In concomitanza, occorre predisporre una evidenza di genere anche con riguardo alla materia degli infortuni sul lavoro, ponendo attenzione a casistiche caratterizzate da un genere anziché un altro, tenendo conto della specificità della Medicina di genere, promossa dall'OMS fin dal 2000 con la pubblicazione dell'Equity Act.

5 – GRUPPO DI LAVORO PER L'OPEN SCIENCE (OS)

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

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

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

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

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

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

- stesura della Policy per l'Accesso Aperto dell'Istituto;
- stesura della Policy sulla gestione dei dati della ricerca (ancora in corso);
- stesura delle Linee guida sul software di ricerca (ancora in corso);
- aggiornamento dell'Archivio Istituzionale per le pubblicazioni, al fine di renderlo compatibile con le richieste open access provenienti dalla CE e in ambito nazionale da ANVUR;

Nel 2021 il Gruppo intende avviare i seguenti progetti:

- creazione di uno spazio dedicato all'Open Science sul Portale Istituzionale;
- organizzazione di incontri formativi per il personale, dedicati al tema dell'Open Science e volti a informare/sensibilizzare la comunità dell'INRiM;
- analisi e gestione delle varie fasi della VQR 2015-2019, fino alla selezione dei prodotti da portare in valutazione.

6 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE

La formazione in INRiM è seguita dalla Unità Organizzativa Sviluppo Risorse Umane.

Si è ritenuto importante affrontare il tema della formazione nel contesto del Piano Triennale, al fine di poter condividere linee di indirizzo e priorità comuni a cui guardare nel prossimo triennio.

Il primo piano della formazione è stato redatto approvato nella seduta del CdA 18 dicembre 2018 con delibera 57/2018/8.

L'esercizio 2021 rappresenta per INRiM il terzo anno di avanzamento del Piano della Formazione 2020 - 2022, che deve essere ancora approvato dal CdA.

La programmazione del Piano della formazione 2021 -2023 si fonderà sulla rilevazione del fabbisogno formativo indicato dai Responsabili di Divisione e Unità Organizzativa, con particolare attenzione agli obiettivi indicati dal Piano Integrato della Performance.

Il processo di erogazione della formazione viene gestito dalla U.O. Sviluppo Risorse Umane che, una volta individuato il fabbisogno e redatto il Piano di Formazione, di concerto con la Direzione Generale e la Direzione Scientifica individua le priorità e definisce i complessivi programmi di formazione sistemici.

Le iniziative di richiesta formativa sono di due tipologie:

- a) richieste di formazione specifica (pull), avanzata da singolo dipendente o dai referenti/responsabili ad ogni livello;
- b) proposte di programmi di formazione sistemici (push), avanzati dalle Direzioni (Generale e Scientifica) a cui, a seconda dei casi, i dipendenti sono chiamati a partecipare obbligatoriamente, volontariamente o, eventualmente, su specifica selezione.

La valutazione dell'efficacia degli interventi formativi è effettuata attraverso il monitoraggio delle fasi che compongono il processo, in modo tale da:

- cogliere le dimensioni motivazionali dei partecipanti;
- analizzare il soddisfacimento in relazione ai bisogni formativi espressi a livello individuale e a livello di struttura di appartenenza;
- ritarare eventualmente i processi di lavoro in base ai risultati ottenuti nella fase precedente di analisi (follow-up).

Un focus del Piano di Formazione 2021-2023 sarà dedicato alla copertura della formazione normativa obbligatoria per tutto il personale.

Per quanto riguarda invece le proposte di programmi di formazione avanzati dalla Direzione Scientifica, si auspica che il Piano della formazione possa contenere tipologie di corsi specifici per il personale scientifico (e amministrativo che lo supporta) dedicati alle tematiche di maggior impatto sulla ricerca, quali la partecipazione a bandi di ricerca allo scopo di acquisire finanziamenti esterni, la conoscenza approfondita dei programmi di ricerca avviati a livello europeo e nazionale e il mondo dell'Open science in tutti i suoi aspetti (le pubblicazioni e l'open access, come e dove rendere open i dati della ricerca, come gestire i dati della propria ricerca in un Data Management Plan, etc..).

7 – LE RISORSE FINANZIARIE

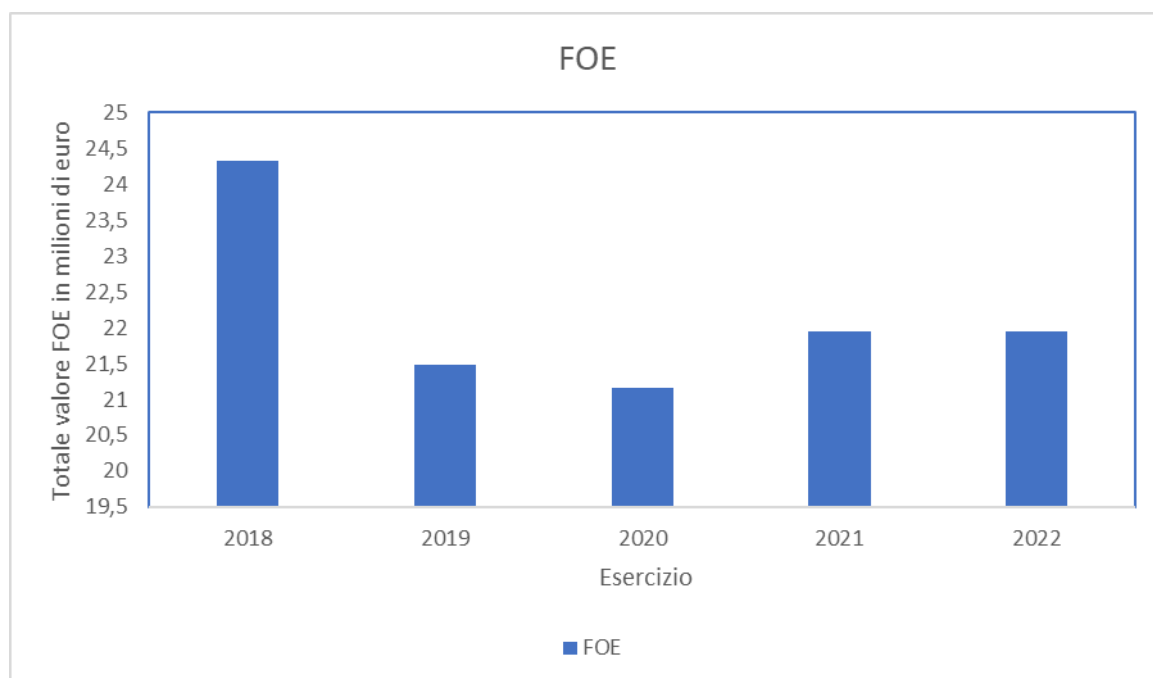
Le risorse finanziarie considerate sono pari ai ricavi inseriti nel bilancio di previsione approvato dal Consiglio di Amministrazione dell'Ente, sulla base delle seguenti ipotesi:

- l'entità del fondo ordinario è calcolata sulla base delle assegnazioni previste dal decreto MUR di riparto del Fondo Ordinario per gli Enti e le Istituzioni di Ricerca per l'esercizio 2020, n. 744 dell'8 ottobre 2020. Per gli esercizi 2021 e 2022, come previsto dall'art. 2 del medesimo decreto, viene considerato quale riferimento il 100% dell'ammontare dell'assegnazione complessiva indicata per l'esercizio 2020.

Oltre all'assegnazione ordinaria, a partire dal 2021 l'Istituto beneficerà dell'assegnazione derivante dalla ripartizione del Fondo finalizzato alle assunzioni straordinarie ai sensi dei commi 2 e 3 art. 238 del DL 19 maggio 2020 n. 34 recante "Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economica, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19".

Per tutti e tre gli esercizi, l'ammontare complessivo del contributo è costituito quindi dall'assegnazione ordinaria, dal contributo per l'attività di ricerca a valenza internazionale, che include la partecipazione a nome dell'Italia al programma EMPIR e dalle risorse per le assunzioni straordinarie di cui al citato decreto.

Come illustrato nel grafico sottostante, a partire dal 2018 l'assegnazione del FOE ha subito una pesante riduzione, dovuta sostanzialmente alla mancata assegnazione della quota premiale (quota 70%). La riduzione è parzialmente compensata negli esercizi 2021 e 2022 per via della ripartizione del fondo per le assunzioni straordinarie.



- i ricavi commerciali da servizi metrologici sono calcolati sulla base del trend storico. A riguardo, appare opportuno evidenziare che la pandemia da SARS-CoV-2 ha avuto ripercussioni nel corrente esercizio sulle attività di certificazione. Conseguentemente, per gli esercizi 2021 e 2022, la previsione di ricavo viene ridotta in via prudentziale.
- La voce "altre entrate" comprende l'applicazione dell'utile di esercizi precedenti al budget, ai fini dell'equilibrio. Tale voce, subisce una flessione nelle previsioni per l'esercizio 2021.
- non** sono inseriti, invece, i ricavi legati ai progetti competitivi e alle commesse industriali.

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

Pertanto, i valori di seguito indicati non sono immediatamente confrontabili con il valore complessivo dei ricavi, utilizzato per l'indicatore di sostenibilità finanziaria del costo del personale riportato nel Piano del Fabbisogno del Personale 2020-2022 (approvato dal CdA in data 23 luglio 2020, con deliberazione n. 33/2020/6). A puro scopo indicativo, si evidenzia che per il 2019 il valore dei progetti di ricerca e delle commesse industriali, contabilizzato in corrispondenza all'effettiva realizzazione delle attività finanziate, ammonta a 3,5 milioni di euro. Questo valore, indicativo, andrebbe aggiunto al totale ricavi indicato nella successiva tabella 1 per ottenere un valore maggiormente comparabile a quelli indicati nel sopracitato Piano.

Ciò premesso, le disponibilità sono di seguito riportate (i valori sono quelli di previsione).

Tabella 1 - Disponibilità

Disponibilità	Esercizio 2021	Esercizio 2022	Esercizio 2023
Contributo ordinario del MIUR	19.918.826	19.918.826	19.918.826
Contributi MUR per progetti di ricerca e attività di ricerca a valenza internazionale	1.250.000	1.250.000	1.250.000
Contributo ai sensi art. 238 c. 2 e 3 DL 34/2020	776.651	776.651	776.651
Entrate per prestazioni di servizi	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Altre entrate	2.280.100	2.280.100	2.280.100
TOTALE	25.725.577	25.725.577	25.725.577

La previsione delle spese è riportata nella tabella seguente.

Tabella 2 - Spese

Spese	Esercizio 2021	Esercizio 2022	Esercizio 2023
Spese per il personale dipendente (TI e TD)	14.953.472	14.953.472	14.953.472
Spese di funzionamento (dirette e indirette)	9.489.268	9.489.268	9.489.268
Oneri tributari	1.057.932	1.057.932	1.057.932
Trasferimenti allo Stato dovuti per legge ed altri oneri	224.905	224.905	224.905
TOTALE BUDGET ECONOMICO	25.725.577	25.725.577	25.725.577

Acquisto strumentazione e altre immobilizzazioni materiali e manutenzione straordinaria	2.485.000	1.150.000	150.000
TOTALE BUDGET INVESTIMENTI	2.485.000	1.150.000	150.000

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

PARTE II: RELAZIONE COMPLESSIVA

8 – L'ATTIVITÀ DI RICERCA: PRIORITA' E OBIETTIVI STRATEGICI DELLE DIVISIONI

8.1 - LA DISTRIBUZIONE DEI MESI - PERSONA

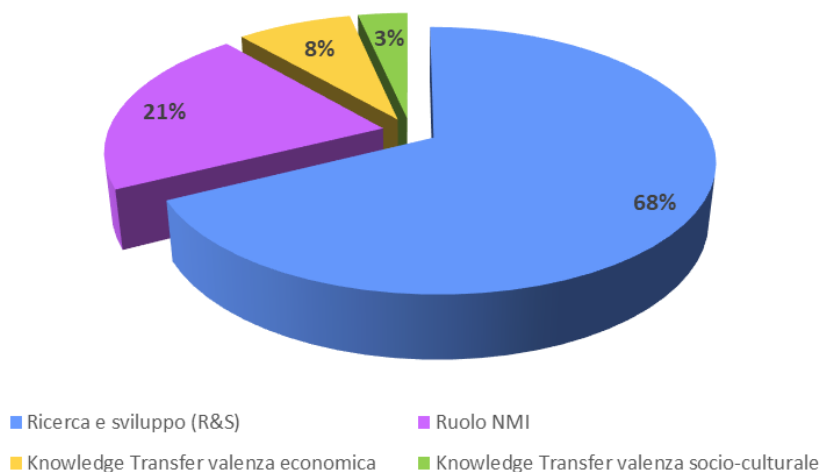
Le tabelle e diagrammi di seguito rappresentati sintetizzano la distribuzione delle attività dell'Ente per tipologia di attività (con riferimento ai dati di consuntivo del 2020).

La Tabella 3 si riferisce alle tre categorie di attività identificate dall'ANVUR, su cui è strutturato anche questo PTA; per quanto riguarda le attività di Terza Missione, si è voluto distinguere tra Terza Missione a valenza economica e Terza Missione a valenza socio-culturale, entrambe, con modalità diverse, al servizio della società.

Dai dati della tabella si evince che le attività dell'INRIM sono dedicate, per il 68%, all'attività di Ricerca Scientifica (R&S), mentre le attività legate al ruolo NMI dell'Istituto rappresentano il 21% del totale. La tabella, e il grafico sottostante, mettono in luce anche il peso minore delle attività di Knowledge transfer (8% e 3%), al cui sviluppo si dovrà tendere nei prossimi anni.

Tabella 3 - Distribuzione dei mesi-persona secondo la categorizzazione indicata dall'ANVUR

2020	Ricerca scientifica (R&S)	Ricerca Istituzionale (Ruolo NMI)	Terza Missione a valenza economica	Terza Missione a valenza socio-culturale	Totale
Totali m/p	1.607,1	498,2	189,4	79,6	2.374,3
Totali in %	68%	21%	8%	3%	100%

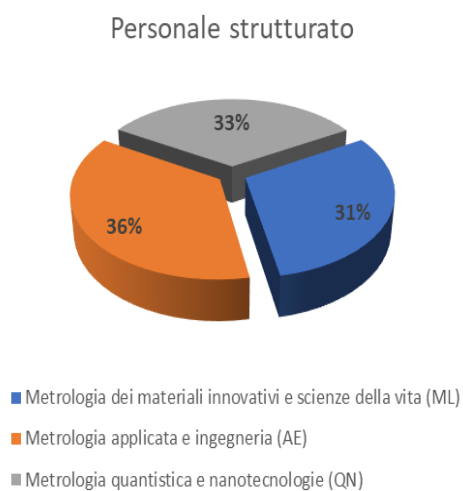


Rappresentazione tramite diagramma a torta dei dati dei mesi-persona elencati in Tabella 3.

La tabella 4 e i grafici corrispondenti a seguire, mostrano invece la distribuzione dei mesi-persona nelle strutture dell'INRiM. I dati sono stati raccolti differenziando tra personale strutturato (TI e TD) e personale non strutturato (assegnisti, personale in formazione, associati). I mesi-persona totali per Divisione sono la somma delle attività sopra considerate (R&S, Ruolo NMI e Terza Missione nelle due valenze) e comprendono anche una piccola percentuale legata alle attività di Gestione e Coordinamento.

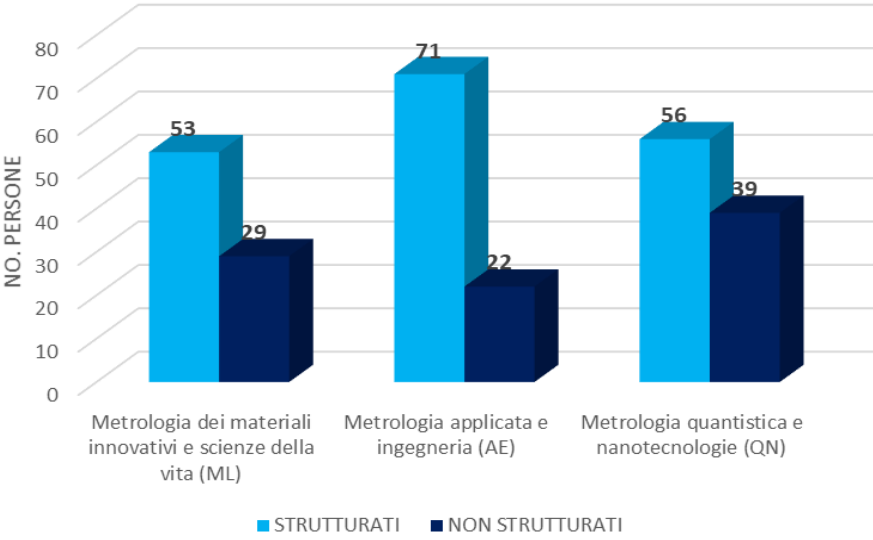
Tabella 4 - Distribuzione dei mesi-persona nelle Divisioni

2020	Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)	Metrologia applicata e ingegneria (AE)	Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)
Totali m/p strutturati	565,5	676,4	617,2
Totali m/p non strutturati	181	111,3	320,2
Totali	746,5	787,7	937,4
Totali in %	30%	32%	38%



Rappresentazione tramite diagramma a torta dei dati dei mesi-persona 2020 elencati in Tabella 4.

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



8.2 - METROLOGIA DEI MATERIALI INNOVATIVI E SCIENZE DELLA VITA (ML)

La Divisione “Metrologia dei Materiali innovativi e Scienze della vita” sviluppa la scienza delle misure e i materiali innovativi con attenzione alle ricerche e alle applicazioni nelle scienze della vita. La Divisione cura temi quali la tutela della salute con riferimento alle applicazioni diagnostiche e terapeutiche, le misurazioni biologiche e chimiche, i materiali funzionali e intelligenti, gli ultrasuoni e l’acustica.

L’attività di ricerca è articolata in cinque settori scientifici che raccolgono ricercatori con simile esperienza denominati “Scienza e Tecnologia alla nanoscala”, “Campi e sistemi elettromagnetici”, “Acustica e Ultrasuoni”, “Scienze e tecnologie biomediche” e “Magnetismo, Materiali e spintronica”. I settori operano nelle due macroaree dei materiali e delle scienze della vita in modo spesso sinergico come dimostrato da progetti di ricerca e pubblicazioni trasversali sulla Divisione.

Nelle figure da 1 a 5 è rappresentata la Divisione ML rispetto ad alcuni indicatori fondamentali, quali mesi-persona, pubblicazioni indicizzate, progetti e documentazione emessa per i servizi conto terzi.

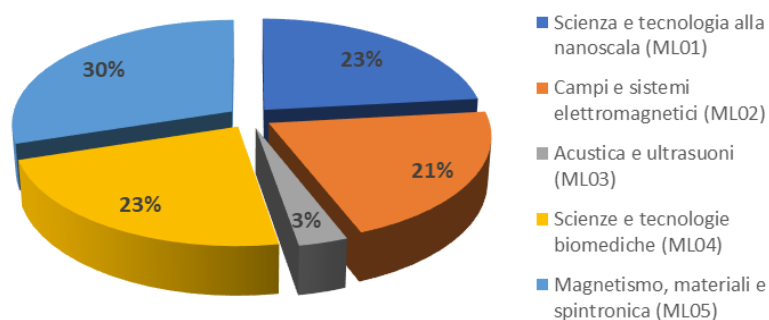


Figura 1 - Distribuzione percentuale dei mesi-persona nei Settori per l'anno 2020.

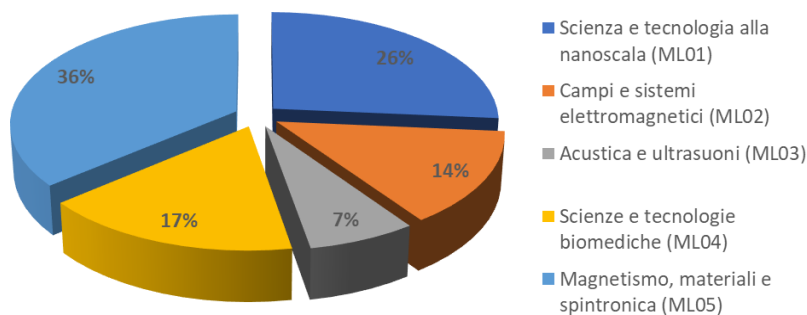


Figura 2 - Distribuzione percentuale delle pubblicazioni nei Settori per l'anno 2020.

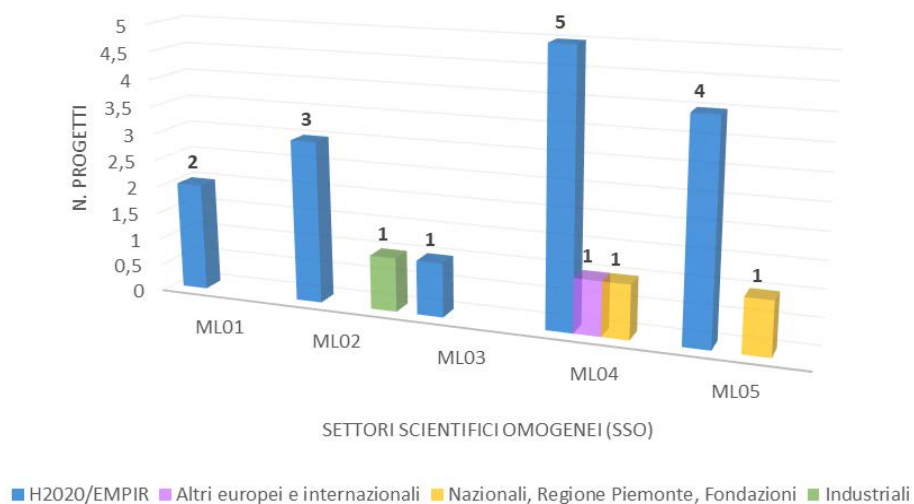


Figura 3 - Distribuzione dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) nei Settori.

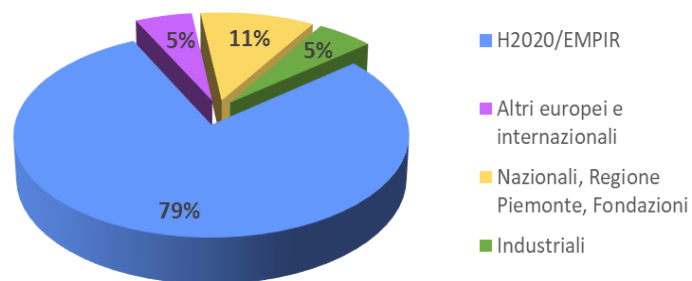


Figura 4 – Distribuzione dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) per tipologia.

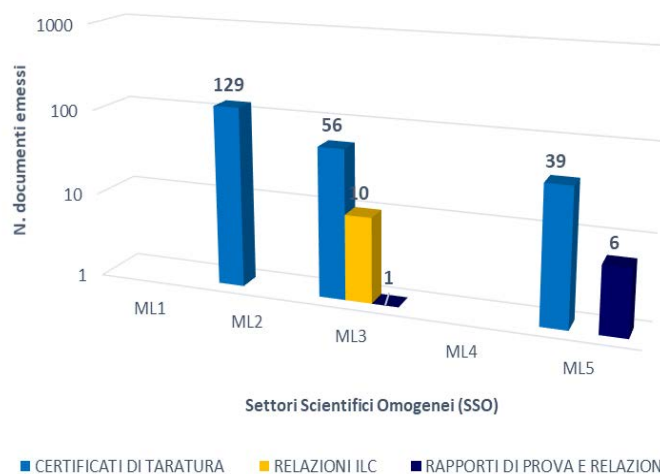


Figura 5 – Distribuzione, nei Settori, dei documenti emessi per l'attività servizi conto terzi 2020.

Ricerca e Sviluppo

Le attività di ricerca e sviluppo della Divisione si articolano su tutti i sei *Focal Point* (FP) individuati nel recente Documento di Vision decennale dell'INRiM “*Metrology towards 2030*” che sono *Monitoring the environment and support the development of clean technologies*, *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*, *Supporting the quality of life and health*, *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*, *Developing technology for space applications and research*, *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*.

Inoltre, l'attività di ricerca si sviluppa in linea con i programmi di ricerca europei per la metrologia ed è suddivisa come da mandato in due diverse macroaree in interazione sinergica tra loro. In particolare, nel 2021 avrà luogo il lancio del Programma Quadro Horizon Europe che, rispetto al precedente Horizon 2020, restringe ulteriormente il campo delle priorità di ricerca alle societal challenges. Nel documento programmatico i temi individuati riguardano infatti l'adattamento ai cambiamenti climatici, cancro, smart cities, salute degli oceani e coste. Gli obiettivi strategici della Divisione principalmente concentrati sulle scienze per la salute, il risparmio energetico e la mobilità sostenibile sono pertanto aderenti a diversi temi di ricerca europei.

In ambito nazionale, le attività della Divisione sono tutte perfettamente calate nei temi delineati nel nuovo PNR 2021 – 2026 che vede tra i propri temi di ricerca alcuni tra i *Focal Points* recentemente delineati nel Documento di Vision di INRiM “*Metrology towards 2030*”. Questo è possibile sia per la natura intrinsecamente pervasiva dei materiali avanzati che per le importanti sfide sociali degli anni futuri.

Le competenze di scienza delle misure nelle attività di ricerca e sviluppo sono messe a frutto con la partecipazione a Progetti di ricerca a cui la Divisione partecipa attivamente sia in ambito Europeo (progetti Horizon 2020 e nell'ambito del programma EMPIR – European Metrology Programme for Research and Innovation) che nazionale e regionale. Il grafico della figura 3 riporta la distribuzione per settore dei progetti attivi nel triennio 2021-2023, suddivisa in base ai settori.

Dal grafico appare evidente che tutti i settori partecipano a progetti in modo sostanzialmente omogeneo qualora si tenga conto sia della numerosità del personale che dell'impegno nelle attività di ruolo NMI e di terza missione. Nel triennio in oggetto la Divisione prevede di aumentare la partecipazione a progetti di ricerca in ambito del nuovo programma quadro Horizon Europe e del programma di ricerca metrologica European Partnership on Metrology in via di approvazione. In previsione di ciò, le attività di ricerca metrologica in ambito europeo si svolgono con il consolidamento dell'impegno attraverso la partecipazione attiva alle seguenti European Metrology Networks (EMN), in collaborazione con le altre Divisioni, recentemente approvate in ambito Euramet. Il personale della Divisione partecipa attivamente alle seguenti Network, coordinandone due (Smart Electricity Grids e Traceability in Laboratory Medicine):

- European Network for Traceability in Laboratory Medicine;
- European Metrology Network on Smart Electricity Grids;
- European Metrology Network for Mathematics and Statistics;
- European Metrology Network on Advanced Manufacturing;
- European Metrology Network for Quantum Technologies.

Un ulteriore significativo indicatore delle attività di ricerca svolte è dato dal numero di pubblicazioni scientifiche indicizzate. Il grafico della figura 2 riporta la ripartizione per settori delle pubblicazioni uscite nell'anno 2019, anno di costituzione della Divisione. Come è possibile notare, la Divisione è, nel suo complesso, attiva in questo ambito e il numero di pubblicazioni per settore è omogeneo se considerato in rapporto al numero di FTE e di impegno in attività di seconda e terza missione.

La Divisione nel triennio 2021-2023 nell'ambito di un'iniziativa di Istituto denominata Bando Grandi Investimenti beneficerà dell'arrivo di un'apparecchiatura detta "Probe Station" che consentirà un importante avanzamento nella caratterizzazione delle proprietà funzionali di dispositivi nanofotonici e spintronici. La nascita di questo laboratorio comune ai settori maggiormente impegnati nella ricerca sui materiali innovativi favorirà una maggiore sinergia per lo sviluppo di dispositivi funzionali.

Di seguito si riportano alcuni degli obiettivi tematici principali delle attività di ricerca previste dai settori per il triennio riportati più dettagliatamente nella parte III:

Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

Proseguiranno le attività di ricerca, modeling e sviluppo di materiali funzionali avanzati per la nanofotonica (metallici, polimerici, metamateriali) e ai dispositivi superconduttivi. Inoltre, si prevede di sviluppare un prototipo di campione di lunghezza alla nanoscala per lo sviluppo di tecniche e procedure di misurazione affidabili e riferibili. Il coordinamento di un progetto europeo per la realizzazione di dispositivi elettronici alla nanoscala per studio di proprietà di conduzione elettronica e ionica promuoverà la ricerca per l'uso di tali dispositivi per l'emulazione di funzionalità neuromorfiche. In generale, gli obiettivi del settore in linea con i Focal Point *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions, Improving the quality and impact of fundamental scientific research, Monitoring the environment and support the development of clean technologies*.

Campi e Sistemi Elettromagnetici

Il settore è molto attivo in ambito biomedico. In particolare, continuerà a supportare l'attività diagnostica nelle MRI con la determinazione di metodi per l'*imaging* quantitativo basato su scansioni a risonanza magnetica, con particolare riferimento alle tecniche di tomografia delle proprietà elettriche (Electric Properties Tomography - EPT), capaci di fornire una misura indiretta dei parametri dielettrici dei tessuti soggetti a scansione. Inoltre, si prevede di continuare l'attività sperimentale e modellistica per valutazioni dosimetriche in ambito biomedico. Entrambe le tematiche sono in linea con l'obiettivo del Focal point *Supporting the quality of life and health*.

In ambito energia, il settore è impegnato nel miglioramento dell'Efficienza dei sistemi di trasporto elettrico con la definizione ed applicazione di metodi e sistemi di misura per l'analisi dell'interazione tra veicolo e stazione di ricarica di electric vehicle charging station. Verranno sviluppati sistemi e metodi per la caratterizzazione metrologica di sensori di tensione e corrente convenzionali e "low power" per misure di potenza ed energia in sottostazioni digitali e per il monitoraggio e controllo della qualità dell'energia trasmessa e distribuita. Queste attività, insieme con lo sviluppo di Sistemi magnetostrittivi per l'energy harvesting sono in linea con il Focal point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*.

Acustica e Ultrasuoni

L'attività in Acustica proseguirà con lo sviluppo di tecniche di misura relative alla taratura di microfoni campioni in campo libero (camera anecoica) e di sistemi e metodi di misura per all'analisi dei parametri acustici relativi a trasduttori acustici di nuova generazione. Per quanto riguarda la ricerca in ambito degli ultrasuoni le attività sono essenzialmente in ambito biomedicale di tipo farmacologico, oncologico, neurologico e SARS COVID-2. La ricerca, sviluppata in collaborazione con istituzioni attive nella ricerca contro il cancro e ospedaliere, prevede realizzazione di sistemi di insonazione. Gli obiettivi sono in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*.

Scienze e Tecnologie Biomediche

Il settore continuerà nella ricerca sperimentale e di simulazioni di nanomateriali per applicazioni terapeutiche, quali ad esempio l'ipertermia magnetica, e diagnostiche. Saranno effettuati studi sulla veicolazione delle nanoparticelle per il rilascio controllato di farmaci.

Verranno sviluppati e caratterizzati materiali simulatori tissutali per imaging con MRI e biomateriali per la medicina rigenerativa, in particolare di *scaffold* biomimetici. Verranno utilizzate tecniche di *imaging* (microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF, microscopia a forza atomica (AFM) e tomografia ottica a radiazione coerente (OCT)). Saranno infine misurati biomarcatori tramite ddPCR allo scopo di sviluppare un nuovo metodo per la quantificazione e la diagnosi accurata del virus SARS-CoV-2 e per l'ottimizzazione dei protocolli di estrazione di RNA da cellule e biopsie liquide.

Le attività sono tutte in linea con i Focal Point *Supporting the quality of life and health e Improving the quality and impact of fundamental scientific research*.

Magnetismo, Materiali e Spintronica

Il settore proseguirà nella tradizionale attività dello studio del magnetismo nei materiali allo stato solido. Verranno preparati materiali innovativi ad alto impatto potenziale in campo biomedico, spintronico, sensoristico nonché industriale. I materiali saranno prodotti su varie scale dimensionali (bulk, alla microscala e nanoscala, film sottili e nanostrutture) continue e porose. I fenomeni magnetici saranno misurati nei materiali con analisi dei processi di dissipazione di energia su scala strutturale da nano a bulk e frequenze operative da DC ai GHz.

La produzione dei materiali innovativi per la spintronica e il nanomagnetismo sarà effettuata attraverso varie tecniche fisiche e chimiche. In questi verranno studiati gli effetti di interazione di correnti di spin e correnti di calore, la generazione delle correnti di spin e la loro interazione con strutture magnetiche attraverso spin torque, la Dzyaloshinskii-Moriya Interaction (DMI), le onde di spin in sistemi non-planari e l'effetto del campo elettrico sui fenomeni di interfaccia e sulla magnetizzazione.

Tutti gli obiettivi sono in linea con i Focal Points *Monitoring the environment and support the development of clean technologies e Improving the quality and impact of fundamental scientific research*.

Ruolo NMI

Tradizionalmente, il ruolo NMI è svolto attraverso la partecipazione a organismi metrologici e tecnici, il coordinamento e la partecipazione a confronti di misura in ambito EURAMET e CCM nelle grandezze. La disseminazione in particolare nell'ambito dell'acustica, campi elettromagnetici e materiali magnetici verrà mantenuta e rafforzata tramite attività di taratura.

Il grafico della figura 5 riporta il numero di certificati emessi dai settori scientifici della Divisione sino a tutto ottobre 2020. In questo periodo sono stati emessi 224 certificati di taratura. È possibile osservare come i settori operanti nel campo dei materiali innovativi e nella biomedicina non sono rappresentati nelle attività di taratura in quanto le misure in tali ambiti scientifici avanzati in cui l'attività di ricerca è intensa e in rapida evoluzione, non sono al momento normate. Il settore Acustica e Ultrasuoni è l'unico ad effettuare le relazioni ILC.

Di seguito sono riportate con maggiore dettaglio le attività in ambito del ruolo NMI dei singoli settori scientifici:

Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

Nel triennio è previsto lo sviluppo di punte per tecnica a scansione quali Atom Probe Tomography e nanoFTIR con la messa a punto della preparativa e dei processi per la loro realizzazione.

INRiM partecipa al comitato del TWA2 Surface Chemical Analysis del progetto Vamas (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) in cui si prevede di avviare confronti internazionali. INRiM ospiterà a Torino lo Steering Committee di VAMAS nel 2022.

Personale del settore parteciperà alla organizzazione della conferenza *NanoInnovation 2021*, settembre 2021.

Campi e Sistemi Elettromagnetici

Proseguirà il contributo alle attività dei comitati EURAMET, quali il TC IM (*Interdisciplinary Metrology*) e il SC *Power&Energy* del TC EM, e quelli in ambito MRI dello *Study Group ISMRM* (International Society of Magnetic Resonance in Medicine): *MRI safety, Electro-Magnetic Tissue Properties, Quantitative MR*.

Si fornirà supporto alle attività dei Comitati tecnici internazionali e nazionali con riferimento all'esposizione umana ai campi elettromagnetici (CEI TC 106), alla caratterizzazione di sensori di tensione e correnti e alla definizione delle loro incertezze di misura (IEC TC38 WG47 e WG55). Si contribuirà inoltre alla ridefinizione della norma IEC 62888, riguardante la misura di energia a bordo treno, da sottoporre al comitato IEC TC 9.

Grazie al laboratorio in corso l'allestimento, dedicato alla generazione di campi magnetici di gradiente analoghi a quelli impiegati nella tomografia a risonanza magnetica, si prevede di mettere a punto procedure di taratura e caratterizzazione di misuratori di gradiente di campo magnetico.

Infine, si studieranno e sperimenteranno procedure per la taratura della catena di misura di potenza ed energia per applicazioni ferroviarie DC, per la taratura di sensori di tensione/corrente con uscita digitale e di concentratori di segnali con ingresso analogico e digitale con la definizione di nuove CMC in ambito *e-mobility* e ferroviario e per la taratura di sensori di tensione e corrente.

Proseguirà l'attività di disseminazione, a partire dai sistemi campione sviluppati nei laboratori, delle grandezze di interesse per la valutazione dell'esposizione e la dosimetria elettromagnetica (campi elettrici e magnetici variabili nel tempo e campi elettromagnetici), per le misure in laboratori e reti in media e alta tensione (tensioni e correnti AC, tensioni DC e AC sinusoidali e distorte, rapporti di tensioni e corrente) e per la verifica della strumentazione per misure di compatibilità elettromagnetica.

Acustica e Ultrasuoni

Per quanto riguarda le attività in ambito acustico, risulta strategico il mantenimento del servizio riguardante l'offerta, l'organizzazione e la valutazione tecnico-scientifica di confronti di misura interlaboratori (ILC) in ambito acustico, a supporto dei laboratori industriali accreditati o in fase di accreditamento. Il settore 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.

Personale INRiM presiede il comitato CEI CT29/87 "Acustica e Ultrasuoni", enti di normazione internazionali, IEC TC 29 "Elettroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics". Sovrintende i lavori del sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e partecipa ai lavori del sottocomitato "Sound in Air".

Si prevede di svolgere una prima sessione del comitato CEI CT 29/87 "Acustica e Ultrasuoni" per aziende operanti nell'ambito delle misurazioni acustiche.

Scienze e Tecnologie Biomediche

Il settore parteciperà a confronti internazionali e interlaboratorio negli ambiti della metrologia delle bioscienze e dell'analisi per attivazione neutronica. L'attività avverrà all'interno di **di organismi e gruppi di lavoro metrologici e/o normativi**.

Nell'ambito delle bioscienze Si parteciperà alla definizione e alla realizzazione di diversi studi pilota organizzati dal "*Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology*" (CCQM) del BIPM, negli ambiti dei Working Group "*Cell Analysis*" (CAWG) e "*Nucleic Acid Analysis*" (NAWG). Si parteciperà ad un confronto organizzato dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA), finalizzato alla validazione di software che implementano il metodo di standardizzazione e calibrazione k0-INAA per la determinazione di frazioni di massa di elementi chimici.

Il settore in collaborazione con ACCREDIA nel campo dei materiali biologici di riferimento fornirà supporto all'accreditamento delle biobanche, in conformità con la recente norma UNI ISO 20387, che si prefigge di assicurare la riproducibilità dei risultati ottenuti sul materiale biologico e la qualità dei campioni.

Magnetismo, Materiali e Spintronica

Il settore continuerà l'attività di Miglioramento e consolidamento della metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici. Inoltre, in parallelo il settore opererà nell'anticipazione dei bisogni metrologici nei campi della spintronica e del nanomagnetismo (microscopia a sonda), campi di ricerca tuttora in rapida evoluzione e le cui misure non sono normate.

È previsto un round robin per le misure di perdita su Epstein e SST. Progettazione di nuova strumentazione a controllo digitale per il laboratorio di magnetismo (banco balistico digitale e nuovo wattmetro). Definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle.

Knowledge Transfer

L'attività è svolta da tutti i settori della Divisione attraverso *tutoring* di studenti, tirocini curriculari per studenti universitari del terzo anno, tesi di Laurea Magistrale, tesi di Dottorato e di addestramento alla ricerca sui temi di ricerca della Divisione. Alcuni settori svolgono Didattica Universitaria e verso le scuole primarie e secondarie. La Divisione partecipa attivamente ad attività di divulgazione quali la Notte dei Ricercatori italiana ed Europea.

Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

Il settore è attivo nell'ambito della didattica universitaria su varie tematiche di Fisica dello Stato solido e scienza dei materiali con i seguenti corsi:

- Didattica presso il Politecnico di Torino per il corso di Fisica e Materiali per Tecnologie Avanzate (cod 02MOCOD - Titolare Prof. Fabrizio Giorgis) per un totale di 20 ore.
- Didattica presso il Politecnico di Torino per il corso di Fisica I (cod 17AXOLZ - Titolare Prof. Samuele Porro) per un totale di 18 ore.
- Didattica presso il D ISIT dell'Università del Piemonte Orientale (UPO) per il corso di Laboratorio Nanotecnologie (cod MF0427 - Titolari Proff. L. Boarino e C. Sasso) per un totale di 16 ore.
- Didattica presso il DISIT dell'Università del Piemonte Orientale (UPO) per il corso di Fisica dello stato Solido (cod MF0245 - Titolari, Prof. G. Amato, M. Fretto e C. Appino) per un totale di 72 ore.
- Didattica presso il Polo Scientifico dell'Università di Firenze per il corso di Elettronica Quantistica (cod. B013483 - Titolare Prof. S. Cavallieri) per un totale di 2 ore.

Si prevede inoltre di sviluppare e divulgare moduli e-learning relativi alla micro e nanofabbricazione.

Nel 2022 si prevede di organizzare la seconda edizione della *"Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standardisation"* febbraio 2022, Claviere (Italia).

Campi e Sistemi Elettromagnetici

Nell'ambito delle attività riguardanti l'*imaging* quantitativo e la sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici, si intende mettere a disposizione della comunità scientifica, su piattaforme informatiche, una parte degli strumenti computazionali sviluppati. Si metterà a punto un brevetto relativo a

una metodologia di identificazione degli eventi di arco elettrico nei sistemi ferroviari e metropolitani DC mediante contatto strisciante.

Nell'ambito di un contratto industriale con Bitron S.p.A. si svilupperanno interfacce a percezione tattile, per applicazioni nel settore automobilistico.

Verranno effettuati corsi di dottorato di III livello quali:

- Svolgimento del corso di III livello *Mathematical-physical aspects of electromagnetism* presso il Politecnico di Torino.
- Attività didattica relativa alla dosimetria MRI, attraverso la riproposizione periodica di uno specifico corso di dottorato presso il Politecnico di Torino.

Si prevede l'organizzazione di un workshop scientifico e di workshop e meeting nell'ambito dei progetti di ricerca finanziati. Tra questi nel 2021 è prevista l'organizzazione del Joint Workshop on MR Phase, Magnetic Susceptibility & Electrical Properties Mapping.

Acustica e Ultrasuoni

Oltre alle consuete attività di formazione rivolta a studenti universitari e di dottorato in ambito acustica e ultrasuoni, si prevede di trasferire l'attività sviluppate all'interno del progetto EURAMET EMPIR 18HLT06-RaCHy che consentiranno lo sviluppo di nuove metodologie sia sperimentali che teoriche nel campo degli ultrasuoni in ambito biomedico.

Scienze e Tecnologie Biomediche

L'attività è principalmente rivolta al trasferimento tecnologico, consulenze e servizi tecnico/professionali. In particolare sono previste consulenze industriali nei campi biomedicale, sanitario, farmaceutico e ambientale. *In risposta all'emergenza sanitaria COVID-19* si prevede di sviluppare metodi di misura per la caratterizzazione di dispositivi per la protezione individuale, nell'ambito della partecipazione al Bando "Innova per l'Italia".

Saranno svolte lezioni ed esercitazioni nei corsi di I livello "Statistica sperimentale e misure meccaniche" (POLITO) e di II livello "Radiochimica" (UNIPV).

Il settore per sua natura contribuisce ad eventi di divulgazione quali quelli organizzati da EURAMET in occasione del "World Health Day" (WHD) e del "World Metrology Day" (WMD) e ad attività quali webinar e interviste. È prevista pertanto un'intervista "Diagnosi rapida e facilitata del COVID-19" per il WHD e video divulgativo "La metrologia per le misure accurate in medicina" per il WMD. Il settore curerà un numero speciale della rivista scientifica *Nanomaterials*, dal titolo "Magnetic Nanomaterials and Nanostructures".

Materiali, Magnetismo e spintronica

Personale del settore ha contribuito alla fondazione nel 2011 dell'Associazione Italiana di Magnetismo molto attiva anche in divulgazione e disseminazione. Negli ultimi anni ha offerto attività didattiche di base e percorsi di approfondimento sull'elettromagnetismo per la scuola primaria e secondaria.

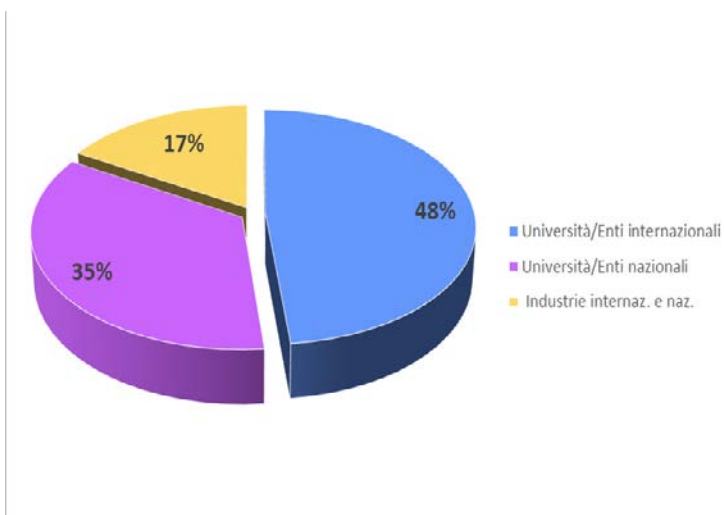
Per la Didattica universitaria svolgerà il corso di III livello "Magnetism, magnetic materials and measurements" presso il Politecnico di Torino e il corso di primo livello "Fisica dello stato solido e laboratorio: laboratorio (materiali magnetici)" presso Università del Piemonte Orientale,

Il settore proseguirà nella partecipazione ai progetti 'Batti il 5' e 'Settimane a scuola' per la divulgazione delle scienze nelle scuole primaria e secondaria di primo grado.

Infine, nell'ambito della partecipazione ai gruppi di lavoro *"Education & Outreach"* e *"AlMagn Colloquia"* verranno organizzati workshop tematici sui materiali magnetici per l'energia.

Si prevede infine di divulgare al grande pubblico le tematiche di ricerca del settore per mostrare l'importanza per la società della ricerca nel campo dei materiali e dispositivi magnetici.

Si segnala infine che la Divisione ha al suo attivo più di 150 collaborazioni, avviate nel 2020 con Università/Enti (internazionali e nazionali) e industrie, la cui ripartizione in percentuale è riportata nel grafico seguente.



8.3 - METROLOGIA APPLICATA E INGEGNERIA (AE)

Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, e secondo l'attribuzione a INRiM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991), la Divisione cura la ricerca metrologica istituzionale per le grandezze di pertinenza e la realizzazione pratica delle unità di misura, anche in risposta alle nuove opportunità offerte dalla ridefinizione delle unità del SI, in accordo con il Documento di *Vision* decennale dell'INRiM (*Implementation of the new SI*).

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

Nelle figure da 1 a 5 è rappresentata la Divisione AE rispetto ad alcuni indicatori fondamentali, quali mesi-persona, pubblicazioni indicizzate, progetti e attività di servizi conto terzi.

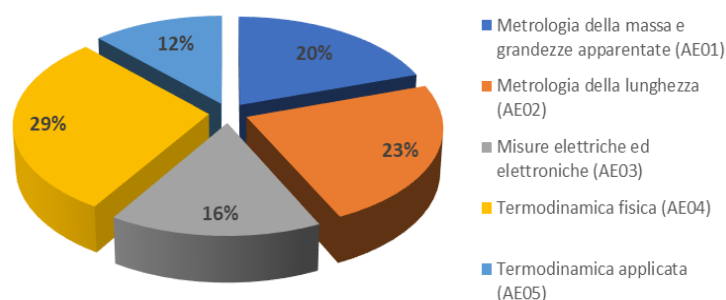


Figura 1 - Distribuzione percentuale dei mesi-persona nei Settori per l'anno 2020.

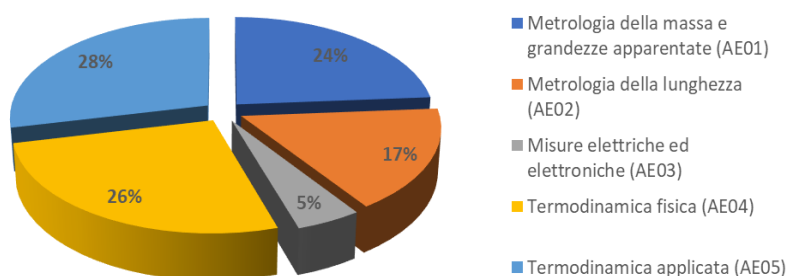


Figura 2 - Distribuzione percentuale delle pubblicazioni nei Settori per l'anno 2020.

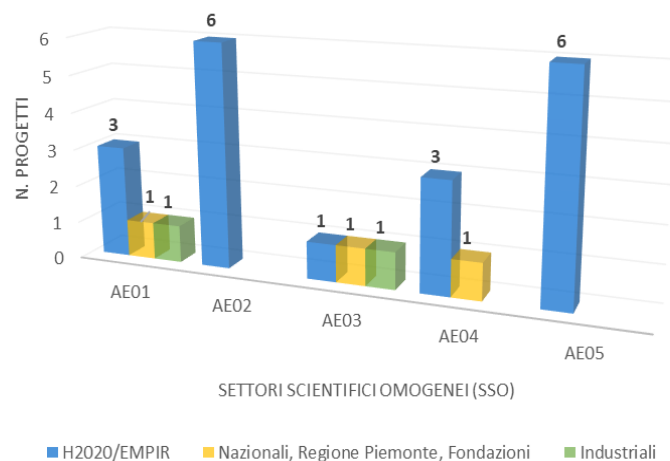


Figura 3 - Distribuzione dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) nei Settori.

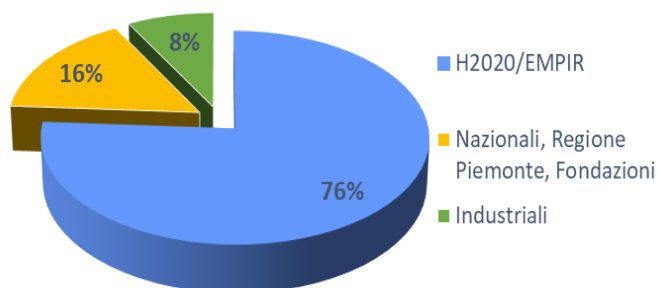


Figura 4 – Distribuzione, nella Divisione, dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) per tipologia.

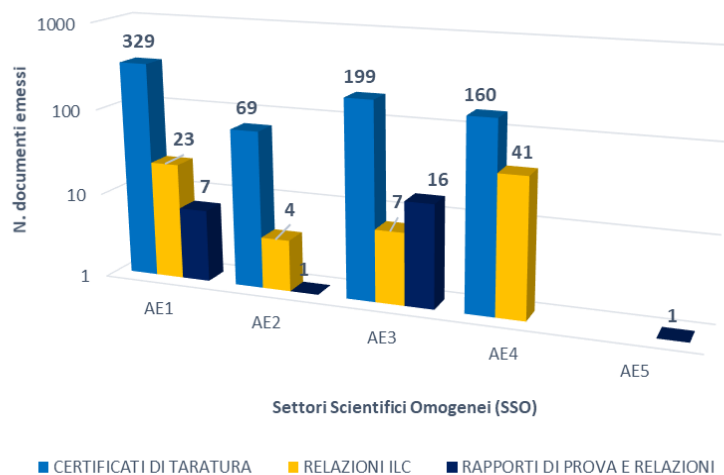


Figura 5 – Distribuzione, nei Settori, dei documenti emessi per l'attività servizi conto terzi 2020.

Ricerca e Sviluppo

In linea con il Documento di *Vision* decennale dell'INRiM "*Metrology towards 2030*", le attività di ricerca e sviluppo della Divisione si articolano su tutti i sei *Focal Point* (FP): *Monitoring the environment and support the development of clean technologies*, *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*, *Supporting the quality of life and health*, *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*, *Developing technology for space applications and research*, *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*. Sono inoltre in linea con i seguenti punti del Programma Nazionale Ricerca 2021-2027: – Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico, Art. 4.6.3 Industria intelligente, Art. 5.1.4 Reti e veicoli *green* e *clean*.

Un'importante ricaduta delle attività di ricerca e sviluppo della Divisione è rappresentata dalle pubblicazioni scientifiche, in particolare quelle su riviste indicizzate. Nel 2020 le pubblicazioni scientifiche su riviste indicizzate della Divisione AE sono state ripartite nei cinque settori come illustrato nel grafico della figura 2. Nonostante si tratti di dati parziali e non definitivi per l'anno 2020, la produzione scientifica risulta equivalente a quanto prodotto nell'anno 2019, anno in cui è stata costituita la Divisione. Da questo confronto, ci si aspetta che la produzione non solo si mantenga costante, ma possa ulteriormente incrementarsi nel triennio. Va sottolineato che l'impegno di tutti i settori non è equamente bilanciato nelle tre missioni, per cui il coinvolgimento in attività di seconda e terza missione può spiegare le disomogeneità nella produzione scientifica in termini di pubblicazioni.

Al fine di massimizzare l'impatto delle attività di ricerca e sviluppo, la Divisione partecipa attivamente a progetti di ricerca sia nel contesto Europeo (progetti Horizon 2020 e nell'ambito del programma EMPIR – *European Metrology Programme for Research and Innovation*) sia in quello nazionale, permettendo di mettere a disposizione le competenze metrologiche nei vari ambiti della ricerca di base e applicata, in accordo con i *Focal Point* del Documento di *Vision*. Si veda a questo proposito la figura 3 che riporta la distribuzione, nei settori, dei progetti attivi nel triennio 2021-2023.

Dall'esame del grafico, si può vedere come tutti i settori della Divisione siano attivi nell'ambito di progetti, anche se non in modo omogeneo. Va sottolineato che l'impegno di tutti i settori non è equamente bilanciato nelle tre missioni, per cui il coinvolgimento in attività di seconda e terza missione può spiegare le eventuali disomogeneità.

Il grafico della figura 4 riporta la distribuzione per aree dei progetti attivi nel triennio 2021-2023. Dal suo esame, si può evidenziare che i progetti europei costituiscono la stragrande maggioranza. Nel triennio si prevede di mantenere e rafforzare la partecipazione a progetti di ricerca, anche in ambito *Horizon Europe* e nel proposto programma di ricerca metrologica *European Partnership on Metrology*

Di particolare rilievo nel triennio, anche dal punto di vista della elevata interdisciplinarietà della Divisione che porta a collaborazioni effettive ed efficaci tra i settori, vi è il progetto per la realizzazione pratica (*mise-en-pratique*) del kg e del K secondo il nuovo SI, finanziato dal bando INRiM grandi investimenti 2020. Per quanto riguarda il kg, l'attività vede coinvolti i settori di Metrologia della Lunghezza, Metrologia della massa e grandezze apparentate, Misure elettriche ed elettroniche e ha come obiettivo la progettazione e realizzazione di un prototipo di bilancia elettrostatica alla scala dei milligrammi con incertezza $<10^{-4}$. Per quanto riguarda il K, l'attività, che vede coinvolto il settore Termodinamica Fisica, è prevalentemente rivolta alla realizzazione di esperimenti di termometria primaria con metodi acustici (AGT) e a microonde (RIGT). Questo progetto, in linea con i contenuti "*Implementation of the new SI*" del documento di *Vision* e con il FP "*Improving the quality and impact of fundamental scientific research*", avrà ricadute anche su altre unità collegate o derivate con la realizzazione di nuovi campioni primari di temperature, massa, forza, pressione, quantità di sostanza e umidità. Di seguito si riportano alcuni degli obiettivi tematici principali delle attività di ricerca e sviluppo che verranno perseguite nel triennio 2021-2023 all'interno dei settori della Divisione AE.

Metrologia della massa e delle grandezze apparentate

Le attività del settore si sviluppano in accordo al FP “*Improving the quality and impact of fundamental scientific research*” del documento di *Vision* dell'INRiM.

Nelle aree **massa** e **densità**, verrà curato lo sviluppo di algoritmi e software per migliorare i metodi utilizzati per la realizzazione della scala di massa, anche nell'ambito della partecipazione al progetto EMPIR RealMass. È inoltre prevista la collaborazione con l'INFN di Sesto Fiorentino per la caratterizzazione dei campioni di massa da utilizzare per un esperimento per la misura di G , per il quale è stato presentato il progetto ERC MEGANTE (*MEasuring the Gravitational constant with Atom interferometry for Novel fundamental physics TESTs*).

Nell'ambito dell'area della **pressione**, verrà sviluppato e caratterizzato un sistema innovativo per la misura di densità e pressione di un gas mediante *scattering Rayleigh* (RAY) in grado di coprire un ampio intervallo di pressione da 10 Pa a 1 MPa. È inoltre prevista la realizzazione e caratterizzazione metrologica di un campione ottico di pressione basato sulla misura dell'indice di rifrazione di un gas, mediante un interferometro a multi-riflessione, operante nell'intervallo tra 100 Pa e 150 kPa.

Per quanto riguarda le **vibrazioni**, verrà effettuata la *mise-en-pratique* di un sistema di taratura primario per le accelerazioni dinamiche (da $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, da 0.5 Hz a 5 kHz) e di taratura per confronto per lo *shock* (da 20 g a 10 000 g, da 5 Hz a 20 kHz) di sensori accelerometrici triassiali MEMS/NEMS digitali: tale sistema prevede l'utilizzo di un opportuno supporto per la taratura simultanea su tre assi. Verranno realizzati piani sperimentali di campionamento per la taratura *on-line* ed *in-line* di accelerometri MEMS digitali su larga scala. È stata avviata un'attività esplorativa con ST Microelectronics per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche di elementi elastici di MEMS, in condizioni di campo elettrico costante. Verrà sviluppato un sistema di taratura, mediante nuova slitta orizzontale, per la taratura di sismometri e di accelerometri a bassissima frequenza (sotto 1 Hz fino a 0.01 Hz). Proseguirà l'attività legata al progetto PRIN2017 “*Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control*”, comprensiva dell'indagine delle procedure e delle tecniche di misurazione delle proprietà rifratto-negative, nell'ambito della trasmissione di onde elastiche, in materiali a struttura periodica, tra 1 Hz e 10 kHz.

Nel campo della **forza**, lo studio degli effetti di tutte le componenti del vettore forza nelle macchine di prova è un elemento che può giocare un ruolo importante nella taratura, nella caratterizzazione metrologica e nel conseguente uso. A questo scopo, proseguirà, nell'ambito del progetto EMPIR ComTraForce, lo sviluppo di metodologie innovative per la taratura di macchine di prova multicomponenti. Verrà inoltre avviata la costruzione del particolare per la nuova macchina campione di forza da 100 kN a pesi diretti: lo sviluppo di nuovi campioni primari permette sia il loro miglioramento, sia la riduzione delle incertezze nella realizzazione dell'unità di forza.

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

Nell'area della **gravità**, l'attività di ricerca sarà prevalentemente incentrata al miglioramento dell'esperimento della caduta libera dei gravi alla base del gravimetro assoluto trasportabile IMGC-02, al fine di migliorarne la funzionalità e la riproducibilità e ridurre l'incertezza di misura. In questo contesto, verrà implementato il nuovo interferometro ottico, studiato il sistema inerziale di riferimento per le misure interferometriche, realizzato un nuovo sistema di lancio simmetrico del grave. Si parteciperà alla realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero, con l'effettuazione di misure assolute del campo gravitazione terrestre in diversi siti di riferimento della nuova rete gravimetrica nazionale e il confronto dei gravimetri assoluti italiani.

Nell'ambito delle **portate di liquidi**, verrà condotto uno studio di fattibilità per la realizzazione di sistemi di misura dell'energia termica per via indiretta, cioè senza la necessità di misurare la portata, in particolare volto alla realizzazione di un sensore da utilizzare nelle misurazioni energetiche legate agli impianti di riscaldamento. Per quanto riguarda **portate e volumi di gas**, in linea anche con i FP *"Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies"* e *"Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*, verranno apportate migliorie agli impianti esistenti per ridurre le incertezze; verranno inoltre consolidate le competenze sui campionatori di aria mediante sviluppi teorici e impiego di strumentazioni dedicata e sviluppate competenze sui flussi rarefatti, accompagnate da analisi numerica. Verrà condotta un'analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata discreta. Verà inoltre sviluppato in collaborazione con DIMEAS-PoliTO il rifacimento di una Vasca Idrodinamica per prove su installazioni marine, in linea al FP *"Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies"*.

Metrologia della lunghezza

Nel campo della **Interferometria X/ottica (COXI)**, ci si propone di sviluppare competenze (teoriche e sperimentali), tecnologie e infrastrutture metrologiche per la ricerca fondamentale nel campo della metrologia dimensionale e angolare con risoluzione picometrica e del nanoradiante mediante interferometria ottica e a raggi X e a contribuire alla misura di costanti fondamentali per la fisica: tali attività risultano in linea con quanto previsto dal Documento di Vision nelle sezioni *"Impact for other fields of science"* e *"Implementation of the new SI"*, oltre che al FP *"Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*. Parte delle attività riguarderà il trasferimento nei nuovi laboratori degli apparati per la topografia X a contrasto di fase e la misurazione del parametro reticolare del silicio, il loro *upgrade*, installazione e messa a punto. Il laboratorio verrà rimesso in piena operatività per il ripristino delle capacità di misura assoluta per la determinazione del parametro reticolare del Si d_{220} . Il completamento della misurazione del parametro reticolare in corso presso il PTB (2021-2022) potrebbe richiedere di rideterminare la misurazione presso l'INRIM per indagare l'origine di eventuali discrepanze e di avviare in collaborazione lo sviluppo di un comparatore di reticoli capace di risolvere *strain* di 1 nm/m.

Nel campo della **metrologia dimensionale**, prosegue l'applicazione alla ricerca delle nuove tecniche di misura interferometriche sviluppate nell'ambito dei progetti EMPIR (LAME e Geometre) e ESA (LIG-A). Prosegue inoltre lo studio volto a ridurre l'incertezza nelle misure d'angolo (anche attraverso l'uso del *Ring Laser*) e delle righe ottiche. In collaborazione con i settori di Termodinamica Fisica e Termodinamica Applicata, verranno realizzati tecniche e strumenti di termometria acustica per migliorare la conoscenza della velocità del suono (progetto EMPIR Geometre) e per la realizzazione di un prototipo dimostratore di un termometro da campo, in accordo al FP *"Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies"*.

Nel campo della **nanometrologia e metrologia delle superfici**, la Divisione può dare un contributo fondamentale nello sviluppo di campioni atti a garantire la riferibilità della strumentazione alla nanoscala. Si proseguirà nel consolidamento dei metodi di misura AFM di nanoparticelle non sferiche (bipiramidi, piattine, cubi; collaborazione con UniTo), nella realizzazione di campioni di forma e dimensione alla nanoscala con nano particelle e nanostrutture di origine vegetale (collaborazione con UniTo e CNR-IPSP). Verranno sviluppati procedure e campioni per la misura 3D di forma e tessitura areale di superfici e confrontati metodi di misura a contatto e non progetti EMPIR Met4Wind e TRacOptic, in collaborazione con il settore ML01). Verrà eseguita la taratura dinamica di tastatori a contatto (progetto ProbeTrace). È inoltre prevista la realizzazione di un sistema di misura capacitivo differenziale per piccole rotazioni e micro/nano spostamenti.

Per quanto concerne la **Metrologia a coordinate e lunghe distanze**, ci si propone di sviluppare metodi e strumenti per la metrologia su grandi distanze (>10 m) con incertezze $<10^{-6}$. Proseguiranno le attività finalizzate allo sviluppo di metodi per la valutazione dell'incertezza applicabile nell'industria (progetto EUCoM, coordinamento) e quelle legate alle applicazioni di grandi dimensioni (progetto LaVA), in particolare nel campo delle macchine utensili di grandi dimensioni e dell'interferometria su lunghe distanze. Mettendo insieme le varie competenze presenti nella Divisione, verranno realizzati metodi e strumenti per la misura

della temperatura su lunghe distanze attraverso la velocità del suono in aria standard con incertezza migliore di 100 ppm (progetti EMPIR LaVA e Geometre).

Il settore, ha un'importante attività nell'ambito della **metrologia per lo spazio**, che risulta pienamente allineata con il FP *“Developing technology for space applications and research”*. In questo contesto, ci si propone di migliorare le potenzialità di attrazione di fondi da parte delle agenzie spaziali e delle industrie aerospaziali e di proseguire le collaborazioni in atto con le industrie Thales e STI e con le Agenzie Spaziali Italiana (ASI) ed Europea (ESA). Sono attive collaborazioni interdisciplinari entro la Divisione AE con il settore Metrologia della massa e grandezze apparentate per l'effettuazione di test di vibrazione e *shock* per la qualifica dei prototipi e con il settore di Termodinamica Applicata per la qualifica termica. Verranno condotte attività sperimentale e teorica per la valutazione dell'incertezza e degli errori degli accelerometri di volo a supporto delle missioni ESA BepiColombo e JUICE. L'attività di sviluppo di sistemi di misura che INRiM svolge con l'industria aerospaziale e le agenzie spaziali, oggi basata su una serie di contratti di taglia medio-piccola, può essere strutturata in modo più coordinato e arricchita da infrastrutture dedicate per incrementare la capacità di partecipazione a bandi futuri.

Misure elettriche ed elettroniche

Le conoscenze e i laboratori del settore sono sempre più richiesti per attività di ricerca e sviluppo trasversali, come la caratterizzazione di nuovi materiali, nel campo della sensoristica e per la valutazione della sicurezza dei dispositivi e apparati industriali, in accordo con il FP *“Improving the quality and impact of fundamental scientific research”* del Documento di *Vision*. Saranno quindi intensificate le attività volte a sfruttare le *facility* disponibili per attività di ricerca sia all'interno dell'INRiM sia in collaborazione con realtà esterne. Nel campo della **resistenza elettrica**, continueranno le attività di progettazione di nuovi campioni di resistenza elettrica in particolare verso i valori $> 10\ \text{T}\Omega$ e la sperimentazione di nuovi campioni elettrici trasportabili sia per applicazioni metrologiche statiche in laboratorio sia come campioni viaggiatori nel trasferimento della riferibilità e per ILC (collaborazione con la Measurements International-MI, Canada). Le capacità acquisite, continueranno ad essere impiegate nell'ambito di attività di ricerca nell'elettromedicale, in linea con il FP *“Supporting the quality of life and health”* e in quello della produzione di nuovi polimeri e plastiche polimetriche funzionalizzate. Proseguiranno attività di ricerca su proprietà piezoelettriche di polimeri contenenti cellulosa, materiali sui quali sarà fatta una caratterizzazione elettrica estesa (collaborazione con CNR-IMAMOTER e Politecnico di Torino).

Per quanto riguarda la **tensione continua**, verranno migliorati i prototipi delle sorgenti di tensione continua a 10 V in collaborazione con la MI. Verrà ultimata la fase di progettazione di un nano-divisore automatico di tensione continua a rapporti fissi e si procederà alla realizzazione di prototipi funzionanti in grado di realizzare rapporti decadici da 10:1 a 100:1. Le apparecchiature prodotte saranno caratterizzate per gli impieghi metrologici e confrontate con dispositivi commerciali.

Molte delle attività nell'ambito delle **alte tensioni e forti correnti** sono in linea con il FP *“Supporting sustainable energy conversion and clean storage”*. Nel triennio, verranno analizzati i metodi di prova e l'incertezza associata nel campo delle alte tensioni con forme d'onda composite e combinate, con particolare riguardo alla garanzia di riferibilità ed alla standardizzazione (progetto EMPIR HV-com²). In considerazione della possibilità di utilizzo dei droni per manutenzioni e ispezioni in prossimità di linee elettriche di media ed alta tensione, in aree a rischio in caso di impatto, si andranno a valutare possibili scenari di validazione in presenza di elevati campi elettrici e magnetici in ambienti controllati per garantirne la sicurezza.

Termodinamica Fisica

Nel campo della **Termometria**, gran parte dell'attività è legata alla termometria primaria, allo sviluppo di sensori di temperatura e di metodi termometrici innovativi. Verranno realizzati esperimenti di termometria primaria con metodi acustici (AGT), a microonde (RIGT) e radiometrici volti a favorire la disseminazione diretta della nuova definizione del kelvin e la revisione della Scala Internazionale di Temperatura (ITS-90) e a valutare la riproducibilità di punti fissi eutettici metallo-carbonio, in accordo con il FP *“Improving the quality*

and impact of fundamental scientific research”), anche nell’ambito del progetto EMPIR Real-K. Verranno sviluppati campioni primari per la disseminazione del kelvin con riduzione dell’incertezza e estensione dell’intervallo di lavoro nell’intervallo fra 4 K e 2500 °C. Nell’ambito del progetto EMPRESS2, verranno sviluppati nuovi sensori basati su fosfori termosensibili per la misura della temperatura superficiale (attività coerente con il FP “*Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*”), studiata la termometria dielettrica basata su risonatori *whispering gallery*, sviluppato almeno un termometro quantistico micro- o nano-strutturato (optomeccanico o diamante) da impiegare in ambito automobilistico su appositi banchi di prova. Saranno mantenute collaborazioni con la Divisione ML per metodi di misura e controllo temperatura di stazioni di carica per veicoli elettrici (EVCS), in accordo con il FP “*Supporting sustainable energy conversion and clean storage*” e Art. 5.1.4 Reti e veicoli green e clean PNR 2021-2027).

Nell’**igrometria**, verranno estese le attuali capacità di misura per estenderne gli intervalli di lavoro in temperatura di rugiada/brina con la realizzazione di nuovi generatori di gas umido in grado di operare fra -105 °C e 180 °C, in pressione, da valori sub-atmosferici fino a 0.5 MPa (EMPIR PROMETH2O). Tali capacità sono il presupposto per la realizzazione di nuovi campioni primari e lo sviluppo di metodi di misura utili in numerose applicazioni, dallo studio di parametri di interesse atmosferico e climatico a processi di manifattura industriale, in linea con diversi FP del documento di Vision (“*Monitoring the environment and support the development of clean technologies*”, “*Supporting sustainable energy conversion and clean storage*”, “*Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*”). Verranno portate a completamento le attività previste nel progetto EMPIR Met4FoF, nel progetto Regionale Industria 4.0 – (HOME) e nel progetto SENSEI – Industria 4.0. Verranno condotte misure di pressione di vapore saturo dell’ossido di deuterio (D₂O) e di gas refrigeranti di nuova generazione, nell’intervallo di temperatura da 0 °C a 100 °C. Verrà sviluppato un sistema per la validazione metrologica di uno o più laboratori energetici sviluppati da un partner industriale e un sistema di taratura di sensori di temperatura (anche MEMS) impiegati come sensori di riferimento in sistemi di collaudo automatico.

Per quanto riguarda le **proprietà termofisiche**, nell’ambito dei temi di ricerca prioritari individuati nei FP “*Monitoring the environment and support the development of clean technologies*”, “*Supporting sustainable energy conversion and clean storage*” e nell’ Art. 5.2.8 “Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico” del PNR 2021-2027, proseguiranno le attività di ricerca a supporto dei processi di decarbonizzazione (Progetto EMPIR DECARB), di approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili e dello stoccaggio di energia a breve e lungo termine. In particolare si implementeranno modelli termodinamici specifici, basati su misure accurate di velocità del suono e densità di fluidi di interesse scientifico e tecnologico (quali ad esempio refrigeranti, carburanti, solventi, acqua deuterata e di mare, aria umida) e la realizzazione di sensori di trasferimento destinati ad essere utilizzati sugli impianti industriali.

Termodinamica applicata

Gran parte delle attività del settore sono in linea con il FP “*Monitoring the environment and support the development of clean technologies*” e l’Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico del PNR 2021-2027.

Per quanto riguarda le attività di **chimica e analisi statistica associata**, continuerà lo sviluppo di modelli e codici per la valutazione di conformità di dati composizionali in applicazioni chimico/ambientali e di casi studio per la valutazione di incertezza e conformità a specifiche (progetto IUPAC/CITAC n. 2019-012-1-500, progetto EMPIR EMUE), anche in accordo al FP “*Supporting the quality of life and health*”). Verrà sviluppata e validate la versione eseguibile 2.0 del *software Calibration Curve Computing (CCC) (Focal Point “Monitoring the environment and support the development of clean technologies”, “Improving the quality and impact of fundamental scientific research”)*. Il sistema di preparazione di miscele gravimetriche verrà migliorato con automazione del sistema per le pesate di precisione (comparatore di massa). Inoltre sarà terminata la validazione della stazione per la preparazione di miscele mediante diluizione dinamica (in particolare della camera di miscelamento), e sarà predisposto un *software* di gestione dedicato. Verranno preparate e caratterizzate miscele gassose di riferimento per la misura dei rapporti degli isotopi stabili del

CO₂ ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$), con miglioramento delle incertezze (Progetto EMPIR STELLAR). Proseguirà lo studio di opportuni percorsi di riferibilità metrologica e la valutazione delle incertezze in misure in ambito marino (parametri chimico/fisici marini, $p\text{CO}_2$), anche nell'ambito della partecipazione al progetto INFRAIA "MINKE"

Nell'ambito della **meteorologia e climatologia**, continuerà il supporto alla climatologia nella valutazione di serie storiche e record di temperatura, anche con lo sviluppo di raccomandazioni WMO e si svolgeranno campagne di tarature presso osservatori storici riconosciuti dal WMO. Nell'ambito di vari progetti di ricerca (EMPIR COAT, progetto RIST 2, progetto *Metrology for Caves*), verranno migliorate le tecniche di misura negli studi di aree polari (Artico) glaciali, periglaciali e in grotta. Proseguirà la collaborazione con ARPA Piemonte per la taratura di sensori permafrost in ambito alpino. Proseguiranno le attività presso la stazione artica "Dirigibile Italia – ISP-CNR" per l'implementazione del laboratorio comune di metrologia precedentemente avviato a Ny-Ålesund. Nell'ambito del progetto EMPIR CRS, verranno eseguite la progettazione, installazione e caratterizzazione di una stazione di riferimento per la climatologia da realizzarsi in collaborazione con il Comune di Torino e Società Meteorologica Italiana, con l'obiettivo di realizzare un *test site* per il "Surface Reference Network" del *Global Climate Observing System* (GCOS) delle Nazioni Unite. Verrà portato a conclusione lo studio per la valutazione delle prestazioni delle radiosonde per misura di parametri atmosferici termo-fluidodinamici e il miglioramento delle procedure di taratura per sensori atmosferici (anche FP *"Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*), in particolare sui metodi di taratura dei pluviometri *"non-catching"* (EMPIR INCIPIT). Nell'ambito del progetto Complete (PoliTo), verranno validati sensori innovativi per miniradiosonde. Verranno inoltre prodotte raccomandazioni per l'analisi incertezze e inclusione fattori di influenza in misure di grandezze fisiche nell'ambito del Progetto INFRAIA – MINKE.

Per quanto riguarda la **termometria termodinamica per contatto**, proseguiranno e si concluderanno le attività del progetto "RealK" sull'utilizzo di *"Gas-Controlled Heat Pipes"*. Proseguirà inoltre la caratterizzazione in camera climatica con controllo di pressione e tunnel a vento di sensori innovativi e compatti di temperatura e pressione per velivoli (Progetto H2020 "MIDAS").

Nel campo delle **interazioni radiative tra sorgenti e materiali**, proseguirà l'attività volta al miglioramento delle tecniche di caratterizzazione dei materiali per applicazioni Smart-Cities, IoT, ambientali e per i beni culturali, con applicazioni specifiche in linea con vari FP (*"Monitoring the environment and support the development of clean technologies"*, *"Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*, *"Supporting the quality of life and health"*, *"Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*). Proseguirà lo studio della definizione e implementazione di metodologie di caratterizzazione di sensori digitali in campo radiativo esteso per applicazioni anche in ambito *automotive*, con eventuale progetto su guida autonoma, e la mappatura diffusa e delle tecniche di caratterizzazione delle proprietà radiative materiali e sorgenti anche per applicazioni medicali tra cui la protesica avanzata. In questo contesto, verrà reso operativo il laboratorio di *Advanced Aesthetics* nell'ambito del progetto INFRA-P di Unito e avviata l'attività di ricerca ad esso connessa.

Ruolo NMI

Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, secondo l'attribuzione a INRiM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991) e in linea con il tema *"Metrology services and quality infrastructure"* descritto nel Documento di *Vision* dell'ente, la Divisione cura la disseminazione delle unità di misura delle grandezze meccaniche, termodinamiche ed elettriche. In quest'ambito, la Divisione fornisce servizi di taratura sia verso l'esterno, sia per i laboratori dell'INRiM, che richiedono la garanzia della riferibilità metrologica dei risultati anche per le strumentazioni accessorie e per i parametri ambientali. La Divisione coordina inoltre lo svolgimento di confronti interlaboratorio (ILC), in particolare per i laboratori accreditati. Nella figura 5 è riportata la ripartizione entro i settori di AE. Come si può evincere dall'esame del grafico, vi sono alcuni settori che giocano un ruolo preponderante, con un coinvolgimento elevato.

Considerando i dati a disposizione, solo parziali per l'anno 2020, la Divisione ha finora emesso 757 certificati di taratura e 75 relazioni di ILC. Il confronto con i dati dell'anno 2019 mostra una flessione nel numero totale di documenti prodotti. Per gran parte delle aree, l'attività è totalmente in linea con quella del 2019, che aveva prodotto un fatturato di circa 1000 k€: la flessione risulta infatti particolarmente marcata in alcune aree evidentemente più colpite dalla contrattura del mercato, dovuta alle ripercussioni delle misure restrittive messe in atto per il contenimento del Covid-19. Si tratta in ogni caso di dati parziali. Le ripercussioni della pandemia legata al Covid-19 sul mercato e sulle attività delle piccole industrie e dei Laboratori accreditati, principali beneficiari delle attività di taratura e ILC, potrebbero comportare una flessione non trascurabile delle attività di certificazione nel corso del triennio 2021-2023.

La Divisione AE, in linea con l'*International position of INRiM* descritta nel Documento di *Vision*, garantisce la rappresentanza negli organismi metrologici europei e internazionali e nei rispettivi comitati tecnici e gruppi di lavoro (TC-AUV, TC-F, TC-L, TC-M, TC-MC, TC-T di EURAMET, CCL, CCAUV, CCM, CCQM, CCT del CIPM). Partecipa inoltre ai lavori di organizzazioni internazionali, tra cui si annoverano *expert team* del WMO, anche in rappresentanza della comunità metrologica nel suo complesso. Nell'ambito del ruolo NMI, la Divisione partecipa regolarmente ai confronti di misura in ambito EURAMET e CIPM nei settori della massa e grandezze apparentate, vibrazioni, lunghezza, termometria, elettromagnetismo, chimica (analisi di gas e analisi organica). Esegue attività di *peer review* presso altri NMI (tra cui IPQ-Portogallo, CEM-Spagna, INMETRO-Brasile, CENAM-Messico, UME-Turchia) e fornisce supporto tecnico a enti di accreditamento stranieri per l'accreditamento di NMI e DI. Nel panorama della recente costituzione delle reti metrologiche europee (*European Metrology Network - EMN*), la Divisione, in linea con alcuni dei *Focal Point* del Documento di *Vision*, partecipa attivamente alle seguenti EMN, anche in collaborazione con le altre Divisioni: *EMN on Climate and Ocean Observations - ClimOcNet* (FP "*Monitoring the environment and support the development of clean technologies*") e *EMN for Mathematics and Statistics - MATHMET*, rete a carattere trasversale e di impatto in tutti i *Focal Point*. È inoltre coinvolta nelle seguenti EMN in fase di costituzione: *EMN on Advanced Manufacturing* (FP "*Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*") e *EMN on Clean Energy* (FP "*Supporting sustainable energy conversion and clean storage*").

Nel contesto del ruolo NMI, la Divisione si propone i seguenti obiettivi di carattere generale: gestire, mantenere e migliorare i campioni nazionali, sviluppare nuovi campioni, garantire la continuità nella disseminazione delle grandezze di pertinenza mediante attività di taratura e misura, migliorare il servizio in termini di tempi di emissione dei certificati, ridurre le incertezze e ottimizzare le risorse, migliorare la capacità di taratura e misura (CMC) esistenti ed estenderle in funzione delle esigenze emergenti, mantenere il livello di eccellenza in campo internazionale attraverso la partecipazione a confronti internazionali di misura, anche con ruoli di coordinamento, organizzare ILC, mantenere la rappresentanza negli organismi metrologici internazionali e nei *network* rilevanti di pertinenza. Di seguito si riportano alcuni degli obiettivi tematici principali delle attività di Ruolo NMI che verranno sviluppate nel triennio all'interno dei settori della Divisione AE.

Metrologia della massa e delle grandezze apparentate

Nel campo **masse e densità**, verrà completata l'automazione dei sistemi di pesata per la disseminazione della scala di massa con automazione della bilancia da 0 a 5 g. Proseguirà l'organizzazione di ILC per laboratori accreditati ACCREDIA. Verrà condotto il coordinamento del confronto chiave EURAMET.M,D-K4.2020 sulla taratura di idrometri, nel campo da 600 kg/m³ a 2000 kg/m³ (nove istituti partecipanti).

Nelle **portate di liquidi**, si prevede l'estensione del campo di misura a valori inferiori di 40 L/h e la realizzazione di un nuovo sistema di taratura basato sul metodo della pesata dinamica.

Per quanto riguarda le **portate e volumi di gas**, verranno sviluppati software per gli impianti campione MicroGas e BellGas, con conseguente riduzione delle incertezze di MicroGas e automazione delle misure di BellGas. Verrà sviluppato un sistema di controllo dell'impianto MeGas per estendere le capacità di misura. Sarà completato il confronto con il NMISA. Proseguirà l'organizzazione di ILC per laboratori LAT.

Nel campo della **pressione**, si procederà al miglioramento del sistema ad espansione statica e conseguente validazione e caratterizzazione metrologica. Verrà sviluppato un *software* per la taratura di vacuometri *spinning rotor*. Si parteciperà ad un confronto internazionale di misura in mezzo liquido nell'intervallo di pressione tra 2 MPa e 100 MPa e ad uno in mezzo gassoso nell'intervallo 5×10^{-4} Pa e 1000 Pa. In seguito, verrà reinserita la CMC associata al sistema ad espansione statica, dopo le modifiche effettuate per estendere l'intervallo di pressione in cui opera il sistema. Proseguirà l'organizzazione e l'esecuzione di ILC.

Per quanto riguarda le **vibrazioni**, l'attività verterà sulla riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e definizione della sensibilità "digitalizzata", lo sviluppo di sistema di taratura a eccitazione monoassiale per 3 assi simultanei e la definizione di metodologie per taratura a campionamento statistico, sulla base delle indicazioni del documento "*Strategy 2019 to 2029*" del CCAUV del BIPM.

Nel campo della **forza**, è previsto il miglioramento della disseminazione delle misure di forza multicomponenti, la partecipazione al confronto chiave CCM.F.K-23, l'inizio della costruzione della nuova macchina campione di forza da 100 kN, la realizzazione nuovi sistemi di controllo delle macchine campione di forza (1,3 kN, 30 kN, 100 kN, 1 MN). Proseguirà l'organizzazione di ILC.

Nelle misure di **durezza**, verranno migliorati i campioni primari e i sistemi di misura del Laboratorio; verrà messo in funzione il nuovo microdurometro, verranno migliorate le CMC dei penetratori di diamante Vickers e dichiarate nuove CMC dei penetratori di diamante Knoop.

Per quanto concerne la **gravità**, verranno condotte campagne di misura assolute per i Laboratori LAT, e studiate nuove CMC per la taratura dei gravimetri assoluti e relativi.

Metrologia della lunghezza

Nell'ambito della **metrologia dimensionale**, si procederà all'ammodernamento del campione del metro, allo svecchiamento ed estensione/miglioramento delle capacità di misura delle stazioni di misura diametrale e dei blocchetti corti, all'ammodernamento della stazione dei blocchetti lunghi all'aumento della produttività delle misure angolari. Verrà garantita la partecipazione a vari confronti chiave di misura, anche con ruolo di coordinamento (EURAMET.L-K4 – coordinamento, EURAMET.L-K1.2019, EURAMET.L-K3.2019 - coordinamento). Verranno riattivate le CMC sui blocchetti lunghi.

Per quanto riguarda la **nanometrologia e metrologia delle superfici**, verranno preparati e caratterizzati nuovi campioni 3D alla nanoscala con nano-particelle non sferiche e nanostrutture di origine vegetale. Verrà proposta una nuova CMC per la taratura di nanoparticelle quasi-sferiche e estesa la capacità di misura senza contatto di forma e tessitura su campioni e superfici funzionali (metodo areale). Sarà garantita la partecipazione a confronti su misure ottiche di superfici (confronto CIRP). Verranno coordinati ILC su campioni di rugosità.

L'attività nella **metrologia a coordinate** sarà finalizzata allo sviluppo di una nuova capacità di misura per macchine di misura 1D e al completamento delle stazioni di taratura di blocchetti lunghi e di calibri a passi fino a 1 020 mm, con conseguente dichiarazione di nuove CMC.

Misure elettriche ed elettroniche

Nell'area **caratterizzazione e taratura di strumentazione multifunzione**, l'attività sarà principalmente volta alla caratterizzazione della strumentazione e la predisposizione di tecnologie e procedure per effettuare tarature con un livello di precisione adeguato alla strumentazione ad altissimo livello e prestazioni introdotta nei campi delle misure elettriche. Si prevede di consolidare e migliorare le attuali capacità metrologiche e miglioramento delle capacità tecniche nell'offerta dei servizi ILC.

Per quanto concerne il **campione nazionale di tensione continua**, è prevista la sperimentazione di unità multifunzione, per le grandezze tensione continua e resistenza, nell'utilizzo per ILC e per trasferimento di riferibilità verso laboratori secondari.

Nell'ambito delle attività di trasferimento ac/dc e taratura misuratori in regime alternato, si proseguirà con lo studio e la sperimentazione di dispositivi per la conversione ac/dc da utilizzare in parallelo ai trasferitori termici commerciali. Verranno revisionati i programmi di gestione delle stazioni di misura e introduzione di apparati per la completa automazione delle misure. Verranno sviluppati software per la gestione sistemi e per l'elaborazione dei risultati.

Le CMC esistenti verranno riviste e aggiornate. È prevista la partecipazione ai due confronti chiave BIPM.EM-K13 a e b (1 Ω e 10 k Ω) e CCEM-K2.2012. Continuerà l'organizzazione di ILC nell'ambito delle grandezze elettriche a supporto prevalentemente dei Laboratori LAT.

Per quanto riguarda il campo **alte tensioni e forti correnti**, verrà progettata e realizzata una rete resistiva riferibile in grado di tarare la strumentazione per la misura dell'isolamento elettrico fino a 5 kV e verranno migliorate le *facilities* di taratura per espandere i servizi offerti verso le richieste industriali.

Termodinamica Fisica

Nelle aree della **termometria**, verranno mantenuti e migliorati i campioni, sviluppati e collaudati nuovi campioni, tra cui tre nuove celle per realizzare i punti fissi criogenici del neon e dell'argon, la progettazione di una cella innovativa utile per la taratura di termocoppie, la messa in funzione di un nuovo bagno per il mantenimento del punto triplo dell'acqua, la messa in funzione di un nuovo sistema per la realizzazione del punto triplo dell'Argon e confronto con cella campione di riferimento, la progettazione di un nuovo forno per la realizzazione dei punti fissi della scala ITS-90, lo sviluppo di punti fissi eutettici metallo-carbonio (M-C), il consolidamento del campione al punto fisso del rame, la validazione di una nuova cella del punto fisso dell'Ag. È prevista la partecipazione a vari confronti chiave, anche con ruolo di coordinamento: CCT-K2.2, CCT-K7.2021, CCT K-9, Euramet 1457 (T-S7) (coordinamento) bilaterale con Tubitak-UME, EURAMET.T-S3. Di particolare importanza è la collaborazione con i Servizi Informatici INRiM per lo sviluppo delle facility per produrre un certificato di taratura digitale (DCC) di temperatura (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"* e Art. 4.6.3 Industria intelligente del PNR 2021-2027);

Nell'area dell'**igrometria**, verranno concluse le misure per il confronto chiave EURAMET.T- K8.1, elaborati e inviati i risultati dei confronti chiave EURAMET.T- K8 e CCT- K8. È prevista la partecipazione al confronto EURAMET P1442.

Per quanto **riguarda le proprietà termofisiche**, verranno avviate le procedure necessarie a riottenere le CMC per la misura della densità dei liquidi attraverso un confronto bilaterale o trilaterale, con conseguente riattivazione delle CMC e della certificazione delle misure di densità nei liquidi.

Termodinamica Applicata

Per quanto riguarda le attività in **chimica e analisi statistica associata**, proseguirà la Preparazione di miscele gassose di CO₂ a livello ambiente per via gravimetrica e loro studio di stabilità in vista della dichiarazione di CMC per la produzione di materiali di riferimento gassosi (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"* e Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico del PNR 2021-2027).

Verranno validate le procedure per richiesta di CMC per la preparazione di miscele gassose primarie binarie o multicomponenti di inquinanti gassosi e concluso il confronto chiave CCQM-K74.2018.

Per quanto riguarda la **meteorologia e climatologia**, va sottolineato il supporto alla validazione dei record di interesse climatologico anche con inserimento di un *task* specifico entro il WMO *Expert Team "Measurement Uncertainties"* a partire dal 2021. Proseguiranno inoltre i contributi all'*Annex 1* della nuova Guida n. 8 del WMO e verrà inclusa la metrologia nel documento "Strategia per l'Artico" del MAECI.

Nella **termometria termodinamica per contatto**, proseguirà e si concluderà il coordinamento del progetto EURAMET 1459 "ATM Air Temperature Metrology" per la produzione di una linea guida per la taratura di termometri in aria con conclusione dell'ILC coordinato da INRiM e l'avvio analisi dati.

Nel campo delle **interazioni radiative tra sorgenti e materiali**, verranno applicate tecnologie IoT (stampa 3D) per la realizzazione di MR per applicazioni industriali e *automotive*.

Knowledge Transfer

La Divisione sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale mediante molteplici attività. Fornisce supporto all'Ente Italiano di Accreditamento (ACCREDIA) e a enti di accreditamento stranieri (tra cui UKAS-Regno Unito, COFRAC-Francia, TURKAK-Turchia, ISRAC- Israele, EIAC-Emirati Arabi) con attività tecniche di ispezione. Mette inoltre le competenze metrologiche al servizio del sistema-Paese anche collaborando con altri ministeri quali il MISE (convenzione di collaborazione scientifica per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori; partecipazione ai tavoli di lavoro per la redazione delle schede tecniche relative alla strumenti metrici di cui al DM 93/2017 per i settori di propria pertinenza, quali strumenti per pesare, per misura di portate, *utility meters*).

Nell'ambito delle attività di comitati normatori, la Divisione partecipa, anche con ruoli di coordinamento di comitati e gruppi di lavoro, sia a livello nazionale (UNI/CT 002/SC 02/GL 02, presidenza UNI/CT047 TPD e GPS; coordinamento UNI/CT047/GL1, UNI/CT047/GL4, UNI/CT 016/GL 69) sia internazionale (ISO TC 164, ISO/TC213 WG16, WG10, AG1, ISO/TC 69/SC 6/ WG 7; coordinamento ISO/TC213/WG4, segreteria tecnica del TC4-50 della *International Commission on Illumination* – CIE, *liaison officer* CIE-ISOTC22-SC35), anche mediante il coordinamento e la partecipazione a progetti EMPIR normativi (coordinamento di INCIPIT, EUCoM, partecipazione in EMUE, HV-COM²). Partecipa inoltre a commissioni tecniche di settore (ACAE).

In relazione ad interazioni e supporto alle industrie, organizza lo svolgimento di corsi di formazione per *stakeholder* industriali, anche nell'ambito di progetti EMPIR dedicati (LaVA, Met4FoF, EMPRESS2), elabora contratti industriali e di cessione di *know-how* (es. realizzazione sistemi di misura multicomponenti, realizzazione di durometri campione).

Per quanto concerne le attività di *capacity buiding*, che costituiscono una componente essenziale della terza missione dell'INRiM come sottolineato nel Documento di *Vision*, la Divisione si rende disponibile allo svolgimento di tirocini a vari livelli, dall'alternanza scuola-lavoro a stage curriculari per lauree universitarie di primo e secondo livello, e anche nei confronti di *visiting scientist* da altri NMI e di personale proveniente da paesi emergenti. Promuove lo svolgimento di Dottorati di Ricerca presso le proprie strutture in vista di future opportunità di reclutamento.

La Divisione organizza conferenze internazionali nei settori di competenza. Promuove la cultura metrologica attraverso conferenze di divulgazione sul nuovo SI e partecipazione attiva alle settimane della scienza, con visite dei laboratori da parte delle scolaresche.

Inoltre, fornisce personale docente per corsi di primo e secondo livello attivi presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino, per corsi specialistici, per corsi di dottorato e per corsi di metrologia agli insegnanti. In particolare, nel 2021 saranno svolte attività di docenza nei seguenti corsi:

Metrologia della massa e delle grandezze apparentate

- Politecnico di Torino: corso di "*Statistica Sperimentale e Misure Meccaniche*" (cod 09EDMMN - titolare Prof. Alessandro Germak), lezioni ed esercitazioni per un totale di 98 ore.
- Politecnico di Torino: corso di "*Illuminotecnica e controllo del rumore*" (cod 01NISND - titolare Prof. Anna Pellegrino), lezioni per un totale di 35 ore.

Termodinamica Fisica

- Politecnico di Torino: corso "*Thermal measurements and controls*" (Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare; cod. 01OHHND).

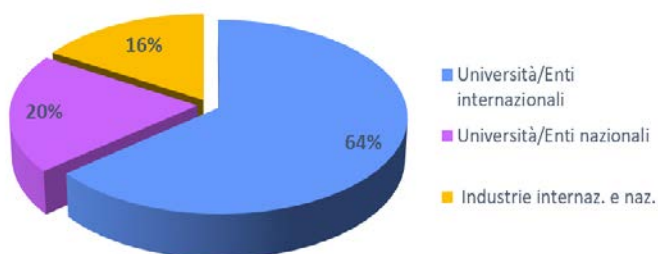
- Politecnico di Torino: corso *"Thermal measurements and controls"* (Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica; cod. 01OHHQD).
- Politecnico di Torino: corso *"Thermal measurements and controls"* (Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica; cod. 01OHHNE).
- Politecnico di Torino: corso *"Thermal measurement and control methods"* (Dottorato di Ricerca in Metrologia; cod. 02SGMRU).
- Università di Torino: corso di *Acustica* (Laurea Magistrale in Fisica ind. Fisica del Sistema Meteorologico e delle Tecnologie Avanzate), cod. MFN0844 (titolare Prof.ssa Maria Pia Bussa), per un totale di 22 ore di lezioni.

Termodinamica applicata

- Politecnico di Torino: corso *"The evaluation of uncertainty in measurement"* (Dottorato di Ricerca in Metrologia).
- Università di Torino: corsi di *"Optica e Optometria"*.

Tra i servizi erogati a terzi che non rientrano nel ruolo NMI, la Divisione fornisce attività di prova. Nel 2020, sono stati emessi 25 documenti tra rapporti di prova e relazioni, dei quali il 64% è prevalentemente legato alle attività nell'ambito delle alte tensioni e forti correnti. Tali attività, nel 2019 avevano comportato un fatturato pari a circa 230 k€.

Si segnala infine che la Divisione ha al suo attivo più di 200 collaborazioni, avviate nel 2020 con Università/Enti (internazionali e nazionali) e industrie, la cui ripartizione in percentuale è riportata nel grafico seguente.



8.4 - METROLOGIA QUANTISTICA E NANOTECNOLOGIE (QN)

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

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

Nell'ambito della ricerca europea, le tecnologie quantistiche rivestono una crescente importanza, in particolare con l'avvento del programma europeo di finanziamento noto come *Quantum Technology Flagship* (qt.eu) e con l'iniziativa della *European Quantum Communication Infrastructure* (<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-event-quantum-communication-infrastructure>). A questo crescente interesse la Metrologia Europea ha risposto anche con la creazione di uno *European Metrology Network on Quantum Technologies* (<https://www.euramet.org/european-metrology-networks/quantum-technologies/>), Coordinato dalla Divisione QN dell'INRiM.

In ambito mondiale extra-europeo, lo sviluppo della metrologia in ambito nanotecnologico e quantistico vede impegnati tutti gli istituti metrologici, e in modo molto attivo l'istituto statunitense, quello cinese, quello giapponese e quello canadese.

Sul Piano della Ricerca Nazionale del Ministero della Ricerca italiano le attività della Divisione sono presenti in modo esplicito.

La metrologia quantistica è citata esplicitamente, nel Capitolo “Digitale, Industria, Aerospazio”, alla sezione “Tecnologie Quantistiche”, dove si trova l'articolazione “Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia”. Qui si definisce che “la metrologia quantistica consente di realizzare standard di misura universali e altamente riproducibili, ad esempio per misure di tempo, frequenza o elettriche, di forte impatto su ricerca di base, industria, economia e società”, definizione in cui si riconosce pienamente la Divisione QN.

La strategia identificata è di “Dimostrare la superiorità dei sensori quantistici ed espanderne l'implementazione in contesti reali ad alto TRL. A tale scopo va perseguito: 1) il consolidamento della ricerca di base, nelle sue articolazioni teoriche e sperimentali, in grado di realizzare ulteriore innovazione nel campo della sensoristica e della metrologia quantistica; 2) l'applicazione in settori di frontiera, ad esempio per la rivelazione di materia oscura o delle onde gravitazionali; 3) lo sviluppo di sistemi integrati e miniaturizzati fotonici, elettronici ed optomeccanici; 4) lo sviluppo di prototipi basati su sistemi di misura ed imaging quantum-enhanced; 5) lo sviluppo di materiali e superfici nano-strutturate e bio-funzionalizzate per prototipi di lab-on-chip; 6) il trasferimento in contesti applicativi industriali (TRL > 6) di dimostratori relativamente consolidati, ad esempio accelerometri, magnetometri, MEMS e LIDAR.” Anche qui, la Divisione QN si riconosce pienamente in tutti i punti a eccezione del punto 2).

Nell'articolazione “Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche” si trova invece la strategia del “Completamento dell'Italian Quantum Backbone con il suo collegamento alla EuroQCI e la sua estensione ai link verso lo spazio ed alle reti metropolitane. L'IQB farà da banco di prova per la comunicazione quantistica e le tecnologie correlate, e garantirà l'accesso alle aziende nazionali per lo sviluppo di applicazioni e di software” e la “Creazione di una rete di Poli di Fabbricazione Avanzata per: i) circuiti integrati elettro-ottici, i) circuiti integrati elettro-ottici, fotonici e ibridi scalabili; ii) dispositivi basati su semiconduttori, superconduttori, nanomagnetici molecolari, sistemi fotonici, atomici ed ibridi per la computazione e la comunicazione quantistica; iii) sensori quantistici miniaturizzati basati su atomi neutri, superconduttori e dispositivi opto-elettro-meccanici; iv) apparati di imaging quantistico; v) interfacce quantistiche in grado di combinare diverse piattaforme; vi) test, validazione e certificazione di apparati QT”. La Divisione QT si colloca qui pienamente per i contributi alle Infrastrutture Piquet e Italian Quantum Backbone.

Al Capitolo 6 del PNR, “Prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura, ambiente”, troviamo l'Articolazione “Autenticità e integrità del sistema alimentare”, dove la Divisione si riconosce particolarmente

quando si afferma che “La frode alimentare mette a rischio la sostenibilità dei sistemi alimentari, [...], minando la sicurezza alimentare (adulterazione per sostituzione, ecc.) [...]”. È necessario un approccio per salvaguardare l'integrità del sistema, promuovendo la collaborazione globale sia per l'aspetto regolatorio, sia per l'adozione di tecnologie e di approcci condivisi, con l'utilizzo di metodologie analitiche innovative, smart, anche applicabili on site, e la loro validazione”. Sull'Articolazione “Tendenze emergenti nelle tecnologie alimentari ed efficientamento dei processi di trasformazione.”, QN ha attività di rilievo nei punti strategici “6a) Processi e packaging innovativi” e “6c) Nanotecnologie per la realizzazione di rivestimenti innovativi.”

Secondo il Documento di Visione strategica dell'INRiM (Metrologia verso il 2030), la metrologia quantistica è particolarmente presente nella nuova ridefinizione del Sistema Internazionale con l'evoluzione che questo storico avvenimento comporta, e si rispecchia a pieno nei tre pilastri di impatto sull'industria, sulla società e le altre scienze. In particolare, i settori di attività di QN sono protagonisti in quattro dei sei *focus point* del documento di Visione strategica: 1) *il Sostegno alla qualità della vita e della salute*, con lo sviluppo delle tecnologie e dei metodi di natura atomica e spettroscopica per l'agroalimentare e lo studio biologico e i nuovi sensori quantistici per la medicina e la biologia; 2) *l'Accelerazione della trasformazione digitale e delle transizioni industriali* con lo sviluppo delle comunicazioni quantistiche, della sincronizzazione delle reti intelligenti, il supporto costante ai sistemi di navigazione e datazione satellitare, le applicazioni di elettronica quantistica anche alla computazione quantistica e ai nuovi materiali; 3) *lo Sviluppo delle tecnologie per lo spazio*, con la nuova generazione di orologi per le applicazioni in orbita, la distribuzione accurata di tempo ai sistemi centri di controllo a terra delle missioni spaziali, i sistemi di certificazione fotometrica per i sistemi di imaging spaziali 4) *il miglioramento della qualità e impatto della ricerca fondamentale* con il trasferimento dei nuovi metodi di misura ad altre realtà fondamentali come la radioastronomia, la sismologia, la fisica nucleare in collaborazione con l'università e gli enti pubblici nazionali deputati.

Nelle figure da 1 a 5 è rappresentata la Divisione QN rispetto ad alcuni indicatori fondamentali, quali mesi-persona, pubblicazioni indicizzate, progetti e documentazione emessa per i servizi conto terzi.

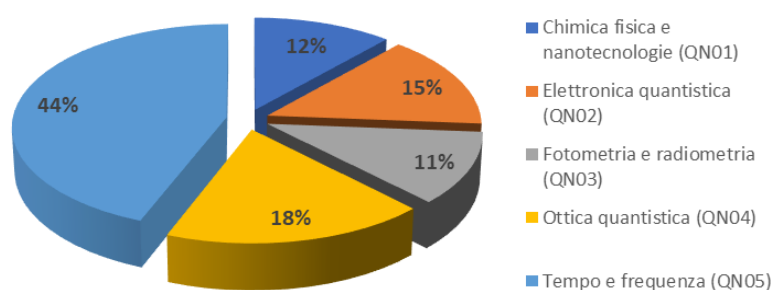


Figura 1 - Distribuzione percentuale dei mesi-persona nei Settori per l'anno 2020.

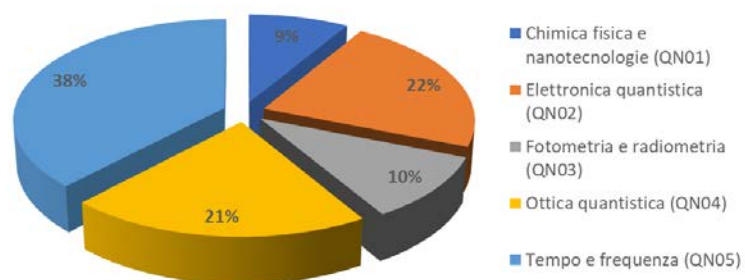
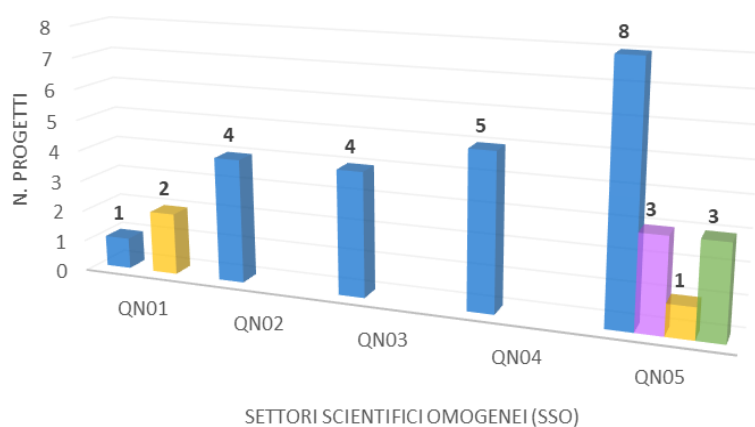


Figura 2 - Distribuzione percentuale delle pubblicazioni nei Settori per l'anno 2020.



■ H2020/EMPIR ■ Altri europei e internazionali ■ Nazionali, Regione Piemonte, Fondazioni ■ Industriali

Figura 3 - Distribuzione dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) nei Settori.

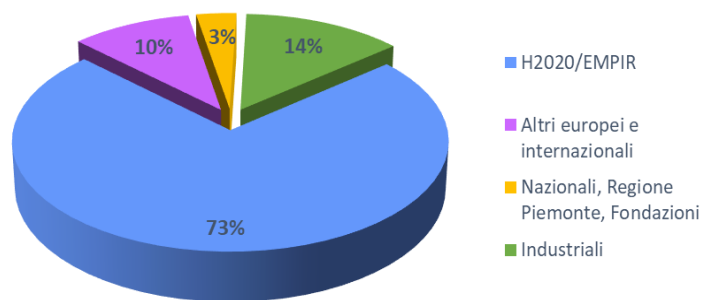


Figura 4 – Distribuzione, nella Divisione, dei progetti (attivi nel triennio 2021-2023) per tipologia.

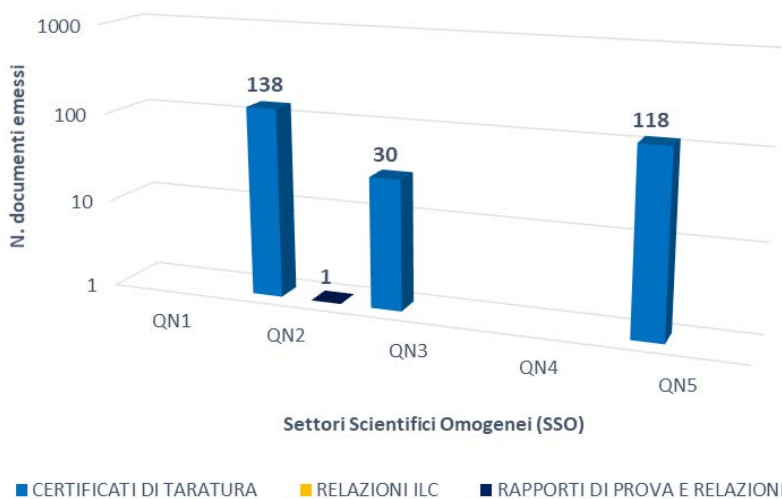


Figura 5 – Distribuzione, nei Settori, dei documenti emessi per l'attività servizi conto terzi 2020.

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

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

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

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

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

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

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

La Divisione coordina e infrastrutture di ricerca dei progetti Impresa (tecnologie per la metrologia e la sicurezza alimentare) e Piquet (tecnologie quantistiche e nanofabbricazione), progetti dell'INRiM parte delle linee strategiche della Regione Piemonte per l'infrastrutturazione di ricerca e il trasferimento tecnologico al tessuto produttivo, finanziati attraverso fondi europei nel FESR 2014-2020. La Divisione sviluppa i propri piani di attività in linea con i programmi di ricerca metrologici europei (EMPIR) e con il Piano Nazionale della Ricerca nei temi di pertinenza. Partecipa inoltre attivamente alle seguenti reti metrologiche europee (European Metrology Network - EMN), anche in collaborazione con le altre Divisioni: coordina a livello europeo l'EMN on Quantum Technologies e propone come coordinatrice l'EMN on Food Metrology, oltre a partecipare alla proposta dell'EMN on Positioning, Navigation, Timing and Geodesy.

Ricerca e Sviluppo

Chimica Fisica e Nanotecnologie

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

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

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

Nelle **Nanotecnologie per la metrologia alimentare**, si studierà l'uso di materiali nanostrutturati per lo sviluppo di tecniche analitiche ad alta sensibilità e specificità verso gli analiti. In particolare, impiego di materiali nanostrutturati metallici nella spettroscopia Raman per sfruttare effetti di amplificazione del segnale,

al fine di incrementare la sensibilità analitica. Sviluppo di tecnologie nanofotoniche e spettroscopia Raman amplificata da effetti plasmonici mediante l'uso di nanoparticelle metalliche e/o di substrati solidi nanostrutturati in ambito SERS. Integrazione della microscopia a scansione di sonda con la spettroscopia Raman (Tip-Enhanced Raman Spectroscopy - TERS), con risoluzione nanometrica di immagini chimiche di substrati nanostrutturati e di molecole. Applicazioni del TERS per la caratterizzazione a livello nanometrico di superfici e multistrati destinati agli imballaggi alimentari, funzionalizzati con nanoparticelle o self assembled monolayer di molecole naturali o materiali biocompatibili, per lo sviluppo di imballaggi alimentari attivi e/o intelligenti

Elettronica Quantistica

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

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

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

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

Fotometria e Radiometria

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

Infine, nell'area della **fotometria classica e quantistica** si svilupperanno tecniche innovative per la misura della risposta spettrale dell'occhio per applicazioni fotometriche, in particolare con tecniche di ghost imaging

e imaging plenottico per l'analisi della risposta spaziale della retina e lo sviluppo di sorgenti a singolo fotone e coppie di fotoni correlati per la determinazione della soglia di rivelazione dell'occhio con sorgenti quantistiche

Ottica Quantistica

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

b) **nuovi paradigmi della misura quantistica** – Studio di misure quantomeccaniche "deboli", al fine di giungere a misure amplificate e osservabili, per la realizzazione di protocolli innovativi nel campo delle tecnologie quantistiche (con particolare attenzione al quantum sensing) e la quantificazione delle risorse necessarie. Si studierà inoltre l'applicazione dell'effetto Zenone quantistico al fine di ridurre il rumore. Si studieranno infine i fondamenti della misura in meccanica quantistica e nuove idee nell'ambito della misura in meccanica quantistica, quali la teoria degli agents. Scopo ultimo di queste ricerche è lo sviluppo, all'interno della cosiddetta "second quantum revolution", di una metrologia "quantistica" (cioè basata sulle correlazioni specifiche degli stati quantistici);

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

Tempo e Frequenza

Lo sviluppo del triennio è articolato su temi principali quali:

a) **Campioni ottici di frequenza, lungo tre sviluppi complementari. Il Campione ottico Yb** con raggiungimento accuratezza in parti per 10^{-18} . Il campione a Itterbio è operativo e oggi capace di un'accuratezza di 3×10^{-17} . Lo sviluppo ulteriore si concentrerà sulla riduzione dell'incertezza da corpo nero e da effetti da reticolo ottico. I **nuovi campioni ottici quantum enhanced**, basati su atomi di Sr. La tecnica dello spin squeezing con tecniche cosiddette di cavity-QED mira a migliorare la stabilità del campione sotto il limite classico di misura, con il fine di guadagnare un fattore dieci per raggiungere l'accuratezza di parti in 10^{-18} in meno di 1000 secondi. Un **campione ottico in regione UV**, basato su atomi di Cd. La regione dell'ultravioletto, pur essendo molto importante per l'analisi chimica, anche nei settori della metrologia alimentare già presente in Divisione, di fatto non vede l'uso diffuso di campioni primari e tecniche di misura avanzate, che ne migliorerebbero le prestazioni. Il campione al Cadmio vuole colmare questo gap metrologico, e al tempo stesso sfruttare le proprietà del cadmio per assicurare orologi più accurati attraverso la riduzione degli effetti di corpo nero (il Cd ha una sensibilità di dieci volte inferiore rispetto a Yb e Sr).

b) **Nuovi oscillatori ultrastabili ottici e a microonda**. La possibilità di avere sorgenti a basso rumore di fase è indispensabile in applicazioni scientifiche T/F. La catena nella regione del visibile deve consolidare la capacità di produrre incertezze inferiori a 10^{-17} su tutta la scala temporale delle misure. L'uso di cavità ultrastabili e pettini ottici di frequenza permette di generare microonda a basso rumore e di trasferire alta stabilità in varie regioni dello spettro visibile.

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

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

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

Ruolo NMI

Chimica Fisica e Nanotecnologie

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

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

Coordinamento del confronto: VAMAS TWA 42 (Raman spectroscopy for TiO₂ nanoparticles mixtures).

La Divisione svilupperà:

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

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

c) **la riferibilità delle misure di spettroscopia Raman alle unità S.I.** La spettroscopia Raman usa la luce diffusa per identificare e mappare la distribuzione di sostanze chimiche e strutture a livello micro o nanometrico. Utilizzata nei settori farmaceutico, sanitario, biotecnologico, delle nanotecnologie e delle scienze forensi, è un metodo rapido e non distruttivo. È in corso un'attività normativa, 1) per migliorare l'affidabilità delle misurazioni, stabilendo la riferibilità alla mole e al metro SI e sviluppando campioni di riferimento e 2) per garantire standard di misurazione nella risoluzione spaziale, della profondità e la confocalità, su richiesta specifica dei produttori di dispositivi.

Elettronica Quantistica

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

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

Gli ambiti di attività specifica sono:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fotometria e Radiometria

La realizzazione e disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali, con partecipazione ai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR fanno parte dei compiti NMI della Divisione.

Tra i confronti interlaboratorio previsti nel triennio, la taratura in intensità luminosa di lampade LED con PQED (EMPIR PhotoLED), oltre alla **Riferibilità di misure a singolo fotone** - Pilot study on the detection efficiency of single-photon detectors – Si-SPAD (850nm) Le CMC vengono supportate dai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR; in particolare nel prossimo triennio sono previsti i confronti di misura per i radiometri UV-A, e per i filtri neutri. Per quanto riguarda il regime di conteggio è prevista la partecipazione a confronti di misura pilota (CCPR WG SP) dell'efficienza di fotorivelazione di rivelatori singolo fotone (SPAD) nel visibile (850 nm, free space) e nel vicino infrarosso (1550 nm, fibre coupled); con l'obiettivo di estendere le capacità di misura, verranno sviluppate appropriate catene di riferibilità e protocolli di misura, a partire dal radiometro criogenico (100 μ W) a scendere (-100 dB) al regime di singolo fotone. Nell'ambito del progetto EMPIR PhotoLED è in corso un confronto interlaboratorio per validare l'uso del PQED per la misura diretta dell'intensità luminosa di lampade campione a LED.

Ottica Quantistica

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

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

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

Tempo e Frequenza

Le attività NMI della Divisione saranno articolate in:

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

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

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

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

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

Knowledge Transfer

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

Chimica Fisica e Nanotecnologie

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

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

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

Elettronica Quantistica

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

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

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

Tra il 2021 e il 2022 saranno svolte attività di docenza nei seguenti corsi:

- UniRoma 2 Tor Vergata: corso di III livello "*The revision of the international system of units*"; per un totale di 5 ore di docenza.
- Politecnico di Torino: corso di III livello "*The measurement of electrical impedance*", cod. 01QSXRU, per un totale di 10 ore docenza.

- Politecnico di Torino: corso di III livello "*Fundamentals of metrology*", cod. 01RRCRU, per un totale di 4 ore docenza (titolare del corso Dott. Filippo Levi).

Tempo e Frequenza

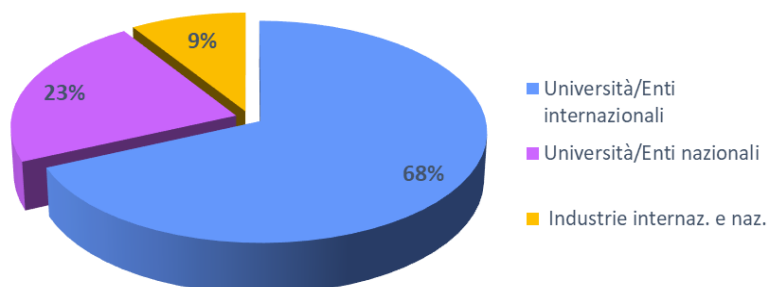
Nel triennio l'articolazione delle attività KT della Divisione in questo settore è la seguente:

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

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

- 1) **Ingegnerizzazione dell'orologio compatto POP**, in collaborazione con Leonardo, con relativa qualificazione spazio, finalizzata sia alle applicazioni industriali che soprattutto quale candidato orologio Galileo seconda generazione.
- 2) **Validazione dei sistemi di timing** nei sistemi Galileo ed EGNOS con supporto ad aziende come Telespazio e Thales Alenia Space. Definizione algoritmi per seconda generazione per Galileo e il Timing Service Provider
- 3) **Infrastruttura di ricerca PiqueT**. Il laboratorio "Piemonte Quantum Enhanced Technology sarà un'infrastruttura di ricerca con grande attenzione per il KT verso l'industria. Coordinato da INRiM, in collaborazione con Politecnico e Università di Torino, crea un laboratorio in camera pulita allo stato dell'arte di circa 500 m² in cui sono conferiti strumenti per la micro/nanofabbricazione e la comunicazione e sensoristica quantistica. Nel triennio il laboratorio sarà messo a regime, e cominceranno le linee di ricerca innovative per la realizzazione di dispositivi quantum (di ottica quantistica, orologi on chip, QKD in fibra, MEMS, materiali innovativi)
- 4) **Riferibilità a UTC(IT)** per l'industria. Sarà esteso l'erogazione del servizio di time stamping su fibra usato da Intesa San Paolo; completato e reso permanente il link ottico di T/F per Leonardo, messo in operazione il link ottico di tempo ultra-accurato (sub-ns) per Telespazio e ASI e il centro di timing di Galileo al Fucino.

Si segnala infine che la Divisione ha al suo attivo circa 120 collaborazioni, avviate nel 2020 con Università/Enti (internazionali e nazionali) e industrie, la cui ripartizione in percentuale è riportata nel grafico seguente.



9 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

9.1 - EURAMET - EUROPEAN METROLOGY PARTNERSHIP (EMP)

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

European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)

EURAMET ha gestito il programma di ricerca 2014 – 2024 European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), co-finanziato dall'Unione Europea attraverso l'art.185 del trattato europeo di Lisbona. Il programma EMPIR ha promosso la ricerca e lo sviluppo nel campo della scienza delle misure (anche per applicazioni nei settori emergenti dell'energia, ambiente e salute) per l'integrazione dei laboratori nazionali e l'innovazione di prodotti e processi di produzione. L'ultima call è del programma EMPIR è stata bandita nel 2020. Tale programma è stato finanziato dagli stati nazionali e dalla comunità europea. Hanno partecipato in qualità di consorziati gli istituti metrologici e gli istituti delegati alla funzione di istituto metrologico di 37 stati europei (circa 120 istituti).

INRiM ha coordinato la partecipazione italiana al programma EMPIR. Il valore di EMPIR è 600 M€: 300 M€ da risorse nazionali e 300 M€ dall'Unione Europea; il 30% del cofinanziamento comunitario, 90 M€, finanzia la partecipazione di industrie, università e istituti di ricerca. Il valore atteso della partecipazione italiana a EMPIR, 24 M€, è 7.6%.

European Metrology Partnership (EMP)

I progetti EMPIR dell'ultima call (di durata triennale) saranno ancora attivi fino al 2024, dopodiché nel 2021, nell'ambito del nuovo programma europeo di ricerca Horizon Europe (2021-2027), inizierà un nuovo programma di ricerca settennale focalizzato sulla metrologia, denominato European Metrology Partnership (EMP).

Questo programma sarà organizzato in accordo all'art. 185 del trattato di Lisbona, diretto da EURAMET, e sarà finanziato al 50% da fondi comunitari e al 50% dagli stati aderenti all'iniziativa, per un ammontare complessivo di 700 M€. Il programma pubblicherà call per progetti di ricerca annualmente sui seguenti macro temi: green deal, Industria, ricerca fondamentale in metrologia, integrazione della metrologia europea, normative, salute e sviluppo di potenziali di ricerca in piccoli NMI.

I partner interni (NMI) potranno partecipare ai progetti mediamente con il 60%, mentre i partner esterni avranno a disposizione il 40% dei fondi.

L'Italia ha deciso di cofinanziare la partnership con 49 M€, permettendo quindi agli istituti metrologici nazionali di partecipare ai progetti di ricerca, nel corso dei 7 anni, per 50 M€.

Il cofinanziamento nazionale all'EMP deve essere fornito in parte in denaro, ed in parte come rendicontazione di spese sostenute dagli istituti. Questo implicherà un importante impegno economico ed amministrativo per l'ente. D'altro canto però la partnership rappresenta un'opportunità fenomenale per fare avanzare la ricerca verso gli obiettivi espressi in Horizon Europe e nel Piano Nazionale della Ricerca, fornendo una fonte di finanziamento importante nei vari campi di ricerca attraverso un processo di selezione competitivo europeo.

9.2 - EURAMET - EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)

Nel corso del 2018, l'INRiM ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività di kick-off relative alla costituzione di cinque European Metrology Networks (EMN), reti approvate alla General Assembly di EURAMET del 2018 che costituiscono lo strumento necessario per affrontare le sfide future nelle scienze della misurazione e fornire un valore aggiunto per l'Europa.

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

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

EMN QUANTUM TECHNOLOGIES



Finalità e obiettivi

Le tecnologie quantistiche sono un campo in rapida crescita che ha superato i confini della ricerca accademica. Spin-off, piccole e medie aziende e grandi industrie stanno sviluppando innovativi dispositivi quantistici. L'Europa è all'avanguardia in questo campo, spinta da sforzi di finanziamento coordinati come la Quantum Flagship e i programmi "quantum" nazionali.

La rete europea di metrologia per le tecnologie quantistiche (European Metrology Network for Quantum Technologies -EMN-Q-) ambisce a diventare il punto di riferimento Europeo per le tecnologie di misura a supporto dello sviluppo dell'industria quantistica. L'EMN-Q ha come obiettivo lo sviluppo di un'infrastruttura metrologica efficiente e coordinata in grado di rispondere alle esigenze di misura delle tecnologie quantistiche oltre che di sviluppare innovativi tecniche di misura basate sulle peculiari proprietà dei sistemi quantistici.

Contenuto tecnico scientifico

La missione dell'EMN-Q è coordinare le attività degli istituti metrologici europei per garantire il loro efficiente contributo alla competitività europea nelle tecnologie quantistiche. Un obiettivo speciale dell'EMN-Q sarà lo sviluppo di nuove capacità di misurazione e servizi dedicati per soddisfare le esigenze in rapida crescita dell'industria e degli istituti di ricerca in questo campo.

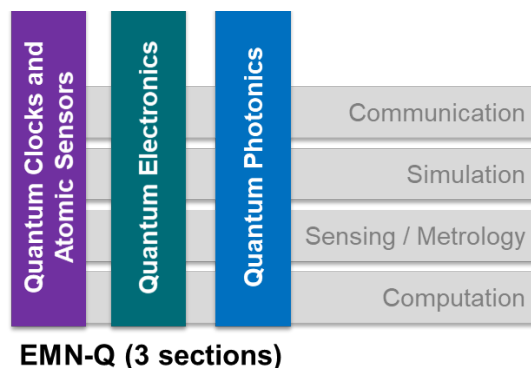
Ci si aspetta che l'industria, le agenzie governative, i settori accademici si rivolgano all'EMN-Q per discutere le loro esigenze metrologiche. Questi possono riguardare non solo la caratterizzazione dei dispositivi quantistici, ma anche la metrologia per le tecnologie di supporto o per la filiera o altre esigenze misuristiche connesse alle tecnologie quantistiche.

L'INRiM partecipa con un ruolo guida alle attività dell'EMN-Q. Infatti sia il "Chairman", che il "Manager" dell'EMN-Q sono ricercatori INRiM, inoltre l'INRiM partecipa attivamente alle tre sezioni in cui è strutturato l'EMN-Q (Quantum Clocks and Atomic Sensors; Quantum Electronics; Quantum Photonics).

L'INRiM contribuisce a rendere l'EMN-Q il punto di riferimento univoco per i soggetti interessati alla metrologia per le tecnologie quantistiche, supportando le attività dell'EMN-Q che mirano a:

- contribuire alla standardizzazione e certificazione delle tecnologie quantistiche;

- promuovere l'adozione della metrologia nello sviluppo di queste tecnologie;
- supportare le esigenze industriali in sinergia con gli obiettivi tecnologici della Quantum Flagship e dei programmi nazionali di sviluppo delle tecnologie quantistica;
- promuovere l'uso di tecniche di misurazione quantistica ove vantaggioso rispetto alle tecniche "classiche";
- promuovere lo sviluppo delle competenze degli istituti metrologici nelle tecnologie quantistiche di prossima generazione



EMN ON SMART ELECTRICITY GRID



Finalità e obiettivi

Le reti di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica costituiscono un elemento nevralgico dell'infrastruttura energetica. La qualità e la stabilità dell'energia trasmessa e distribuita sono sempre più condizionate dalla crescente connessione di flussi di energia bidirezionale da fonti rinnovabili e da sistemi di immagazzinamento dell'energia e possono essere garantite attraverso un accurato monitoraggio e una gestione controllata dei flussi di energia, basati su tecnologie digitali.

La *European Metrology Network Smart Electricity Grids* (EMN SEG), che vede a oggi il coinvolgimento di 21 enti tra istituti metrologici nazionali, istituti designati e università, riunisce gli esperti europei nel campo specifico della metrologia per le reti di trasmissione e distribuzione dell'energia che implementano tecnologie smart. La EMN SEG si è naturalmente costituita nel 2018, a valle di una collaborazione decennale tra gli enti che vi afferiscono nell'ambito di progetti di ricerca comuni. La rete si prefigge lo scopo di: *i)* fornire in modo puntuale, coordinato ed esaustivo risposte e soluzioni ai problemi nel campo della metrologia e delle misure per le reti di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica sia nello scenario attuale, sia in quelli futuri; *ii)* massimizzare i risultati delle attività di ricerca e il loro impatto attraverso una sempre maggiore integrazione delle competenze, in linea con le strategie e gli obiettivi europei in termini di utilizzo di energie rinnovabili, miglioramento dell'efficienza e diffusione e integrazione di sistemi e reti intelligenti. Tutto ciò recependo le necessità degli *Stakeholders* (produttori, consumatori e *prosumers* di energia elettrica, gestori di reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, costruttori di apparecchiature, sensori e sistemi di misura, laboratori di taratura, misura e testing).

Contenuto tecnico-scientifico

Nel triennio 2021-2023 si intendono completare le prime azioni nell'ambito del progetto EMPIR 18NET03 SEG-Net, finalizzate al raggiungimento della piena operatività della EMN stessa. In particolare si lavorerà alla messa a punto di una *Strategic Research Agenda*, in cui si individueranno le sfide metrologiche più significative nell'era della digitalizzazione e della decarbonizzazione del sistema energetico su una prospettiva di 5-10 anni. A partire da una prima bozza già elaborata all'interno della EMN, si procederà a una sua integrazione sulla base dei risultati di una consultazione tramite un questionario proposto a un limitato, ma rappresentativo, gruppo di *stakeholders* europei, per giungere infine all'implementazione di una *Roadmap*. Con riferimento all'ottimizzazione delle risorse e alla definizione di un'infrastruttura di ricerca comune europea, si analizzeranno le informazioni raccolte dai *partners* della EMN-SEG sulle attuali capacità di misura e taratura inerenti al tema delle *Smart Grids* e di quelle di cui si prevede a breve lo sviluppo e l'implementazione. L'utilizzo di una specifica piattaforma web consentirà la disseminazione dei risultati della ricerca e lo svolgimento di attività più specifiche di formazione, a cui si affiancheranno quelle di definizione di corsi di eccellenza sulla metrologia per le *Smart Grids*.

EMN ON CLIMATE AND OCEAN OBSERVATION



Finalità e obiettivi

La comprensione della portata e dell'impatto dei cambiamenti climatici è uno dei temi più critici e importanti al momento attuale, che richiede una collaborazione a livello globale. In questo ambito, la metrologia può e deve dare il suo contributo per garantire la comparabilità dei dati nel tempo e nello spazio e per fornire solide basi al monitoraggio accurato delle variabili climatiche essenziali (ECV) che richiedono misurazioni ripetute in lunghi intervalli temporali e elevate accuratezze per poter discriminare gli effetti imputabili ai cambiamenti climatici dalle normali fluttuazioni.

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

Contenuto tecnico-scientifico

Una infrastruttura metrologica europea è fondamentale per poter fornire supporto alla comprensione a livello globale dei cambiamenti climatici e all'uso sostenibile degli oceani. Al fine di massimizzare l'impatto della rete e fornire un unico ed efficace punto di contatto nei settori di pertinenza, i membri della rete hanno condotto un lavoro di identificazione preliminare dei principali *stakeholder*, sia a livello globale per l'intera rete, sia all'interno di ciascuno dei tre pilastri tematici. Un'indagine dedicata a tutti i membri delle comunità attive nei settori del clima e delle osservazioni oceaniche ha permesso di identificare le necessità e le priorità. Tra gli obiettivi principali dell'EMN si annoverano l'applicazione dei principi metrologici alle misure *in situ* e in remoto, la definizione e la messa in opera di opportune tecniche di misura e campioni di riferimento per garantire la riferibilità metrologica dei risultati delle misure *in situ* e delle osservazioni satellitari. Per poter mantenere aggiornati gli ambiti di intervento, sono previsti specifici *workshop* rivolti agli *stakeholder*, il secondo dei quali è programmato per il 2022.

Nel corso del triennio, l'INRiM fornirà un contributo sia nella rete nel suo complesso, sia articolato nelle tre sezioni. Verranno mantenute e rafforzate le collaborazioni con i vari *stakeholder* sia a livello nazionale sia a livello internazionale e sarà garantita la partecipazione attiva alle iniziative della rete.



Finalità e obiettivi

Coordinata dal PTB, la rete *EMN for Mathematics and Statistics (MATHMET)* si propone di costituire un punto di riferimento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo, incentivando la collaborazione all'interno di progetti scientifici e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni, convegni dedicati e materiale didattico.

I membri della rete sono attualmente impegnati nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, che si concluderà nel maggio 2023, finalizzato a favorire la rapida implementazione della rete stessa. Nell'ambito di questo progetto, la rete sta organizzando la consultazione periodica dei propri utenti scientifici, accademici ed industriali, sta stilando un'agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca nei campi di sua competenza e sta sviluppando un sistema di gestione che definisca i criteri per assicurare la qualità dei documenti e dei codici di calcolo rilasciati. Nel 2020 la rete si è dotata di uno *steering committee* che include due posizioni elettive, di cui una è occupata da un rappresentante INRiM.

Contenuto tecnico-scientifico

La rete EMN MATHMET gioca il ruolo di punto di riferimento per l'integrazione tra la scienza della misurazione ed i metodi matematici e statistici. Le attività scientifiche della rete si declinano in applicazioni che coprono le grandi sfide correnti, spaziando sui temi della sostenibilità energetica, del monitoraggio climatico ed ambientale e della salute. In questi contesti, la rete applica le proprie competenze nelle tradizionali attività di valutazione dell'incertezza a scenari innovativi, in cui hanno luogo processi multivariati e particolarmente complessi, dove algoritmi avanzati diventano parte integrante dello strumento di misura e possono costituire sorgenti di incertezza al pari della misurazione fisica vera e propria. Una particolare attenzione è attualmente rivolta a temi emergenti e trasversali, quali la digitalizzazione, il trattamento di grandi moli di dati e l'utilizzo dell'intelligenza artificiale per la loro analisi, con l'obiettivo di individuare strategie per quantificarne l'affidabilità. Similmente, la rete è impegnata nello sviluppo e nella caratterizzazione di strumenti modellistici altamente sofisticati (es. modelli numerici multifisici e/o multiscala) con cui svolgere esperimenti virtuali, da utilizzare nell'interpretazione dei risultati di osservazioni empiriche oppure come alternativa a misurazioni eccessivamente complesse, economicamente onerose o invasive. Uno degli obiettivi è la realizzazione di *digital twin*.

Nel corso del triennio, il contributo dell'INRiM sarà distribuito sulle attività qui elencate, con interventi specifici che riguardano la dosimetria elettromagnetica e la tomografia quantitativa per diagnostica medica, le nanotecnologie applicate alle scienze della vita (es. studio di nanomateriali e nanodispositivi per la medicina di precisione) e la valutazione di conformità di misure chimiche composizionali.

L'INRiM contribuirà inoltre all'attività di formazione rivolta a studenti di dottorato nei campi di ricerca suddetti.

Qualora approvato dalla EMN, nella primavera 2021 avrà inizio il progetto di rete "MU training", proposto dal PTB e finalizzato al miglioramento della qualità, efficienza e disseminazione di attività formative sul tema della valutazione dell'incertezza di misura. L'INRiM parteciperà in svariate delle attività previste ed in qualità di leader del Work Package sull'impatto.

Nell'ambito delle attività di disseminazione previste dal progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, l'INRiM organizzerà, in collaborazione col Politecnico di Torino, la seconda edizione del workshop "Mathematical and Statistical Methods for Metrology" (MSMM 2021). Si tratterà di un evento congiunto della European Network for Business and Industrial Statistics (ENBIS), uno dei principali stakeholder della EMN, e di MATHMET, con sessioni speciali dedicate alle due reti e a tematiche di interesse comune, quali l'incertezza di misura e le tecniche di Machine e Deep Learning.





Finalità e obiettivi

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

Contenuto tecnico scientifico

Sarà organizzata una serie di incontri in videochiamata per condurre una *joint demonstrator comparison* che abbia lo scopo di dare riferibilità metrologica ai valori dei confronti EQA. Saranno definiti uno o più analiti oggetto della comparison.

Saranno organizzati e sviluppati i seguenti temi nei sottogruppi:

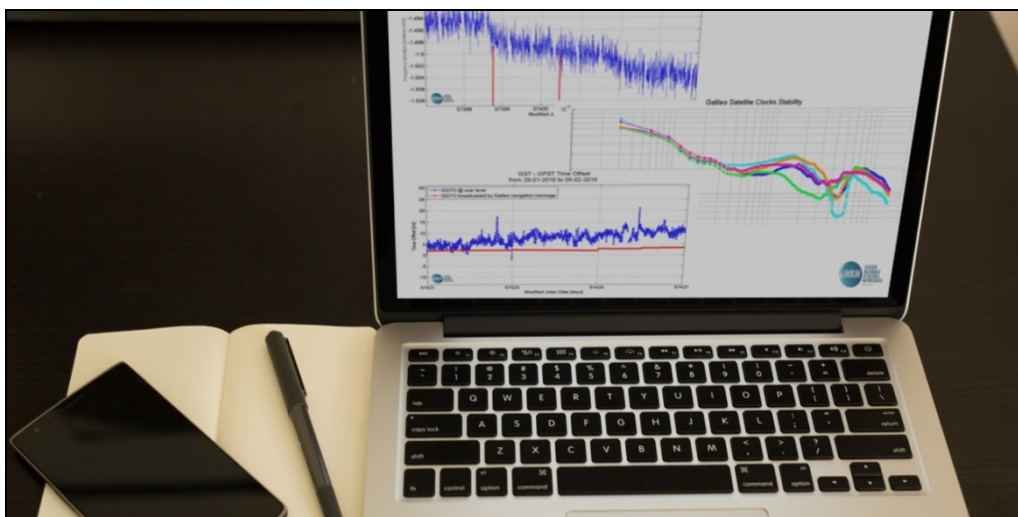
- "History and Focus": Summary, relevant services & projects
- "Stakeholder survey"
- "Concept of Traceability"
- "Case Studies"
- "Notified bodies engagement campaign"

Il coinvolgimento di INRiM sarà principalmente nel primo e secondo sottogruppo.

9.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE

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

L'infrastruttura Galileo, sviluppata in INRiM, promuove le capacità di ricerca e formazione sia per lo sviluppo della navigazione europea, sia per lo sviluppo di applicazioni industriali e nuove tecnologie, in linea con i Focal Points individuati nel documento decennale di Visione Strategica dell'INRiM (Documento di Vision 2020: *Metrology towards 2030*). In particolare, l'infrastruttura contribuisce allo sviluppo del sistema Galileo fornendo le competenze di metrologia del tempo necessarie per la validazione del timing del sistema, ma anche per lo studio e la sperimentazione di nuovi servizi di timing che possano irrobustire e sostenere lo sviluppo e la penetrazione nel mercato dei servizi offerti da sistema Galileo.



L'INRiM collabora da circa 20 anni con l'Agenzia Spaziale Europea per la valutazione delle prestazioni degli orologi di bordo e della scala di tempo di Galileo.

L'attività legata all'infrastruttura Galileo dell'INRiM, e prevista per il triennio, si articola in programmi:

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

L' INRiM è responsabile degli aspetti scientifici del Galileo Time Service Provider (TSP), l'infrastruttura di tempo del sistema Galileo, dedicata alla sincronizzazione della scala di tempo di Galileo con il riferimento di tempo internazionale, detto Tempo Universale Coordinato e realizzato dall'Ufficio dei Pesi e delle misure di Parigi. L'INRiM ha coordinato lo sviluppo del TSP, che è ora operativo presso i centri di controllo di Galileo. L'INRiM coordina poi gli istituti metrologici europei che contribuiscono al Galileo Time Service Provider e partecipa inviando regolarmente prodotti di riferimento basati sulla scala di tempo nazionale UTC(IT), che vengono utilizzati a livello di sistema per la generazione e per la validazione della scala di tempo di riferimento di Galileo.

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

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

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

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

Studio e sperimentazione di servizi di disseminazione dell'ora esatta

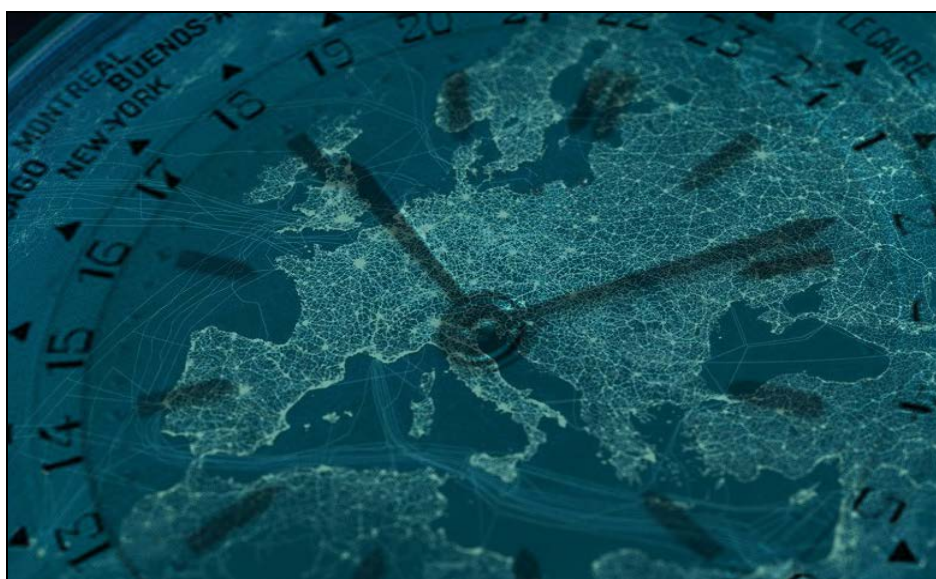
INRiM ha coordinato nel 2015-2016 il progetto DEMETRA, progetto dell'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare. Con DEMETRA, l'INRiM ha realizzato il primo dimostratore europeo per la fornitura di servizi di tempo basati sul segnale Galileo. Galileo infatti, oltre a fornire informazioni di posizione fornisce

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



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

Con il progetto Demetra l'INRiM ha dimostrato come è possibile migliorare il segnale di tempo proveniente dai satelliti Galileo rendendolo più affidabile, preciso e accurato. Il passo successivo sarà contribuire per gli aspetti scientifici alla commercializzazione di nuovi servizi di tempo, basati su Galileo e su metodi alternativi, che possano rispondere alle esigenze dei diversi utenti. L'obiettivo è rendere sempre più efficiente la disseminazione dell'ora esatta.



L'INRiM offre servizi di tempo per la disseminazione dell'ora esatta.

I finanziamenti ricevuti nel periodo 2015-2020 e già previsti per gli anni 2021, 2022 e 2023 sono indicati nella tabella seguente.

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

Anno	k€
2015	2000
2016	2500
2017	900
2018	610
2019	750

2020	730
2021	530
2022	530
2023	400

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

9.4 - ITALIAN QUANTUM BACKBONE (IQB) – DORSALE QUANTISTICA ITALIANA

L'infrastruttura Italian Quantum Backbone (IQB) nasce dalla distribuzione di Tempo e Frequenza su Fibra (progetto LIFT) che distribuisce con stabilità e accuratezza senza precedenti segnali di tempo e frequenza campione usando fibre ottiche commerciali. Sulla stessa fibra, sono stati avviati successive possibilità scientifiche, in particolare il sensing quantistico e gli esperimenti in campo reale di comunicazione quantistica con protocolli di Quantum Key Distribution.

Nel 2020 IQB porta i segnali campioni dell'INRiM in centri scientifici e industriali del paese senza degrado delle prestazioni, offrendo rispetto ad altri sistemi un sostanziale miglioramento dell'accuratezza, la stabilità, la velocità di misura e la sicurezza. Inoltre la parte più classica di IQB permette di realizzare sensoristica innovativa distribuita sul territorio (per es. per la sismologia).

Gli obiettivi di IQB nel suo pieno sviluppo sono di arrivare simultaneamente a offrire: i) una distribuzione stabile dei segnali campione INRiM in fibra a una decina di centri italiani e transfrontalieri per l'accesso alle reti europee; ii) creare un sistema che dalla dorsale irraggi in siti secondari, con la finalità di costruire una piattaforma tempo/frequenza di qualità superiore in Italia; iii) estendere e perfezionare la ricerca di eccellenza sulla sperimentazione di metrologia quantistica e crittografia quantistica in campo reale e iv) collegare in modo permanente i radiotelescopi di INAF a Bologna e di ASI a Matera per un'osservazione più accurata delle emissioni radio nel cosmo v) creare una rete sismologica innovativa in collaborazione con INGV che utilizzi la distribuzione di un laser ultrastabile e la tecnica interferometrica propria di IQB; vi) obiettivo di metrologia primaria è dal 2021 la costituzione della prima rete tra i quattro NMI europei principali (PTB, LNE-SYRTE, NPL e INRiM) per il confronto ripetuto di orologi ottici, nell'ottica della ridefinizione del secondo SI e della creazione di scale internazionali di tempo più accurate.

Pertanto, già oggi gli utenti di IQB sono: gli osservatori radioastronomici con le antenne di Bologna, e 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); i centri di eccellenza scientifica (LENS, Università, CNR-INO – Firenze; CNR-IFN – Milano; CNR-INO – Napoli); siti di test sismologico (Italia centrale); link tra Sicilia e Malta per la QKD.

La distribuzione dei campioni atomici coesiste con la distribuzione di tecnologie quantistiche per la sensoristica e la crittografia, utilizzando reti ibride; inoltre nel 2020 sono state sperimentate tecniche innovative che portano alla convergenza delle tecniche interferometriche proprie del Tempo e Frequenza su fibra con la tecnica QKD nota come Twin Field QKD.

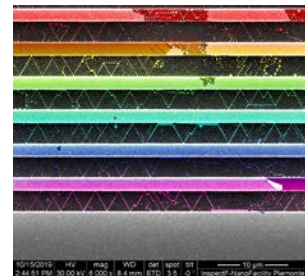
IQB guarda all'Europa, per creare il ramo meridionale di una rete di link ottici che hanno i nodi principali nei maggiori Istituti Metrologici europei. Il raccordo europeo utilizzerà inizialmente il collegamento transfrontaliero italo-francesi (Tunnel del Frejus, Lione, Strasburgo, Parigi) e successivamente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

Inoltre, IQB guarda alla European Quantum Communication Infrastructure, iniziativa della Commissione Europea, per poterne essere un testbed sperimentale.

Dal 2019, l'infrastruttura di ricerca è completa ed operativa, si estende per 1850 km dal confine francese a Matera, passando per Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli. Distribuisce segnali riferiti ai campioni nazionali con tecnica coerente e segnali di time-stamping con tecniche PTP e White Rabbit-PTP.

Nel 2020, i risultati della ricerca basati su LIFT e sulle competenze da esso maturato sono documentati in diverse pubblicazioni internazionali tra cui Nature Physics (2020), Optica (2020), e NPJ Quantum Information (2020).

9.5 - NANOFACILITY PIEMONTE



Architetture di self-assembly direzionate per nanosfere di polistirene.

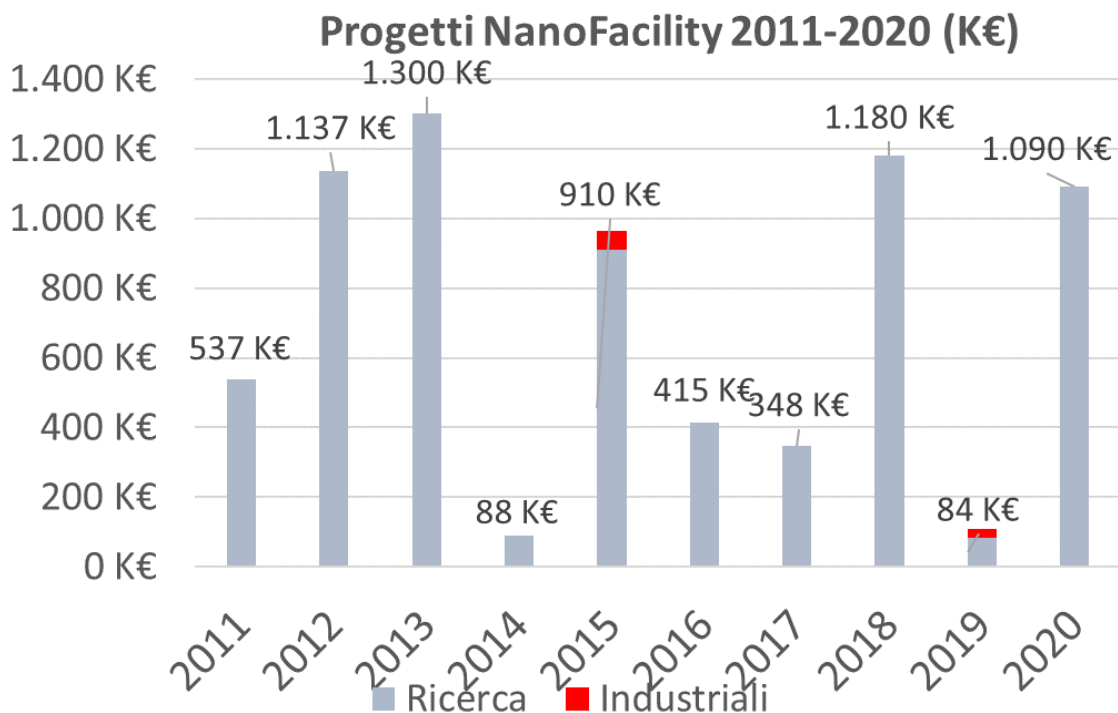
L'INRiM è, tuttora uno dei due Istituti Nazionali di Metrologia in Europa, insieme al PTB, a possedere un proprio centro di micro e nanofabbricazione. L'istituto vanta una pluriennale esperienza nel campo della litografia, sia ottica che laser, nella nanolitografia a fascio elettronico e mediante self-assembly,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

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

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

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

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



9.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET)

La Commissione Europea con la Quantum Technology Flagship ha dato un impulso importante alla ricerca sulle tecnologie quantistiche (TQ): l'INRiM coglie questa occasione per uno sviluppo economico duraturo attraverso innovazione e ricerca, potenziando il suo know-how, con vocazione di trasferimento tecnologico, che attragga risorse nazionali/europee e crei una robusta filiera produttiva.

Nasce in questo quadro la nuova Infrastruttura di Ricerca Piemonte Quantum Enabling Technologies, PiQuET, coordinata da INRiM con la partecipazione di Politecnico (PoliTO) e Università (UniTO) di Torino, progetto co-finanziato dal Programma Operativo Regionale Piemonte Fesr 2014/2020 attraverso il Bando "INFRA-P Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche".

INRiM, PoliTO e UniTO operano in due settori chiave delle TQ: (i) lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati (ii) le TQ legate a orologi atomici e comunicazione quantistica, distribuite sul territorio tramite fibra ottica.

PiQuET ricerca l'eccellenza nel settore:

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

Lo sviluppo delle tecnologie quantistiche in PIQuET segue due linee fondamentali: l'applicazione sempre più estesa di principi fisici del mondo quantistico, dall'altro la miniaturizzazione dei dispositivi. PiqueT offre i benefici dalla nanofabbricazione, con dispositivi integrati, prestazioni migliori e costi ridotti rispetto alle prime realizzazioni in tecnologie "bulk" non integrate. D'altro canto, la nanofabbricazione potrà incorporare i principi quantistici più complessi, che possono potenziare e trasformare i materiali e i dispositivi finora prodotti.

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

Elemento centrale di PiQuET è l'impianto di camera pulita da 500 m² (6 ambienti ISO6, 1 ambiente ISO5) ad alto controllo della qualità ambientale e dei contaminanti, secondo i moderni criteri ISO 14644-1 (vedi par. 1.7), in cui PiQuET:

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

INRiM come ente capofila del progetto ha costruito la camera pulita cuore dell'infrastruttura. Inoltre, INRiM si è dotata nel progetto di due strumenti per la comunicazione quantistica: un sistema di Quantum Key Distribution Cerberis Blades della IDQuantique, progettato per l'integrazione della QKD su reti in fibra ottica e un sistema "trusted node" per test sull'Infrastruttura di Ricerca dell'estensione a lungo raggio delle tecniche di Quantum Communication e a crittografia ibrida classica/quantistica.

Nel corso del 2020 sono stati completati gli acquisti della parte di comunicazione quantistica: così INRiM si è dotata anche di un rivelatore superconduttivo a singolo fotone tra i pochissimi presenti in Italia. La Camera Pulita del progetto è stata completata ed è pronta a entrare in esercizio.

Nell'autunno 2020, grazie alle capacità di PiQuET, INRiM è entrata nel network italiano delle fab più importanti, comprensive di PoliFAB a Milano, CNR-IMM a Bologna, Infotech di Pisa e Fondazione FBK a Trento.

Infine sono stati sviluppati i regolamenti che permetteranno la gestione congiunta dei proponenti e che disciplineranno anche l'uso di soggetti terzi, essendo Piquet aperta al trasferimento tecnologico e alla collaborazione con altri soggetti pubblici e industrie.

9.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA)

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

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

Le due macro-aree d'interesse sono:

- controllo e sicurezza: determinazione di sostanze non intenzionalmente aggiunte nel materiale di imballaggio (NIAS, Non-Intentionally Added Substances) e della loro possibile migrazione negli alimenti;



- sviluppo di nuovi materiali: sviluppo di materiali di imballaggio attivi per aumentare la shelf-life dei prodotti e garantire la sicurezza alimentare.

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

Il Laboratorio contaminanti ambientali dell'IZSTO collaborerà al progetto per la ricerca in ambito MOCA (Materiali e Oggetti a contatto con Alimenti), focalizzandosi sullo sviluppo di metodi analitici sensibili e specifici per la determinazione, nel food packaging, di sostanze inorganiche e del loro stato di aggregazione (nanoparticelle (NPs)). Inoltre verranno sviluppate tecniche analitiche per determinare la presenza in matrici alimentari (in particolare grassi e oli vegetali) di MOSH (oli minerali di idrocarburi saturi, sia lineari che ramificati) e MOAH (oli minerali di idrocarburi aromatici), e per individuare in quale fase della catena produttiva (dalla coltivazione al raccolto, al trattamento fino alla conservazione) sia all'origine della contaminazione. L'unità svilupperà inoltre tecniche analitiche di screening per l'identificazione e la quantificazione di interferenti endocrini presenti nel food packaging.

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

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

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

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

Dettaglio progetto di investimento:

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

L'infrastruttura acquisirà le seguenti strumentazioni:

- Sistema HR-ICP-MS (spettrometro di massa a quadruplo con sorgente di ioni al plasma accoppiato induttivamente) per l'analisi e quantificazione di metalli in matrici organiche, inorganiche e biologiche;
- Sistema NMR (spettrometro a risonanza magnetica nucleare) con magnete a 600 MHz per la caratterizzazione strutturale di molecole organiche all'interno di materiali destinati all'imballaggio alimentare e in matrici alimentari e simulanti alimentari;

- Sistema HR-LC-MS (spettrometro di massa ad alta risoluzione accoppiato a cromatografia liquida) per analisi e quantificazione di molecole organiche con elevata risoluzione in massa;
- Sistema GC-EA-IRMS (spettrometro di massa con risoluzione isotopica accoppiato a un gascromatografo e analisi elementare) per studi di provenienza di origine degli alimenti.

L'infrastruttura è in fase di ultimazione, e sono iniziati i lavori di installazione della strumentazione sopraelencata.

L'infrastruttura IMPreSa sarà di supporto alla rete metrologica europea sulla sicurezza alimentare (EMN-FS) che coinvolgerà la comunità metrologica, i laboratori di riferimento e gli organismi di regolamentazione con l'obiettivo di verificare l'accuratezza delle misure mediante la tracciabilità delle misurazioni al Sistema internazionale di unità (SI). Il JNP Food-MetNet accelererà l'istituzione di EMN-FS e coordinerà le attività metrologiche. Food-MetNet mira a stabilire un dialogo continuo a lungo termine tra la comunità metrologica e le parti interessate, in particolare EURL, NRL e il JRC. Questo dialogo ha lo scopo di supportare la raccolta dei bisogni delle parti interessate, l'adozione dei risultati della ricerca metrologica e lo sviluppo delle azioni necessarie per orientare la ricerca futura.

Tramite l'infrastruttura IMPreSA si svilupperà la ricerca nell'ambito della sicurezza alimentare, in particolare con l'analisi di matrici alimentari e di materiali di imballaggio (inclusi gli imballaggi attivi e intelligenti) destinati al contatto diretto con gli alimenti (imballaggi primari). Questa attività è allineata con il focal point "Supporting the quality of Life and health" tipo del documento di vision decennale dell'INRiM e con il PNR 21-27 "Tecnologie sostenibili, agroalimentare, risorse, naturali e ambientali" ed in particolare con le seguenti aree tecniche: Sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti, Autenticità e integrità del sistema alimentare.

Fonti di finanziamento

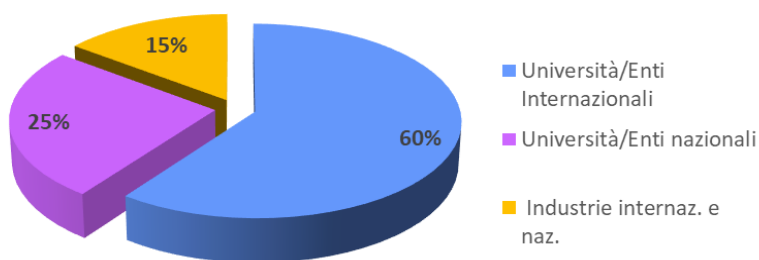
- Programma Operativo Regionale "Investimenti per la crescita e l'occupazione" F.E.S.R. 2014/2020 INFRA-P Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche
- METROFOOD: "Infrastructure for Promoting Metrology in Food and Nutrition" ESFRI
- Food Met-Net: "Support for a European Metrology Network on Food Safety" EMPIR 2020

10 – QUADRO DELLE COLLABORAZIONI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA E DELLE PARTECIPAZIONI

L'INRiM ha al suo attivo più di 400 collaborazioni con Università ed enti internazionali e nazionali, oltre a più di 70 collaborazioni avviate con industrie nazionali ed estere.

L'avvio di queste collaborazioni si è consolidato, o si consoliderà nel triennio 2021-2023, attraverso la stipula di convenzioni o la partecipazione a comuni progetti di ricerca, nonché attraverso la realizzazione di prodotti della ricerca quali pubblicazioni, brevetti, confronti internazionali o altri prodotti legati alla missione NMI dell'Istituto. Si auspica per il futuro di poter arrivare ad una definizione comune di "collaborazione", facendo riferimento, ai fini del censimento, ad elementi oggettivi a dimostrazione delle attività svolte. In attesa di ottenere tali elementi oggettivi, non verranno fatte comparazioni tra i dati raccolti.

Nel grafico che segue sono rappresentate, in percentuale, le collaborazioni attive nel 2020 per tipologia, distinguendo tra collaborazioni con Università ed enti internazionali, Università ed enti nazionali ed infine industrie internazionali e nazionali. Il grafico evidenzia che una parte cospicua delle collaborazioni dell'Istituto si sviluppa sul versante internazionale.



Distribuzione delle collaborazioni INRiM per tipologia.

Nei paragrafi seguenti si intende mostrare più in dettaglio il quadro delle collaborazioni dell'INRiM, prendendo in considerazione da un lato le relazioni con gli interlocutori del panorama internazionale (in cui sono comprese anche quelle "storiche" con gli organismi che hanno contribuito alla definizione dell'Istituto come NMI), dall'altro i rapporti con gli attori del panorama della ricerca nazionale (che naturalmente comprendono anche le interazioni con i centri di eccellenza della realtà locale in cui l'Istituto è inserito).

Si noti che, pur essendo citate all'interno del presente PTA in quanto attive negli anni 2021-2023, gran parte delle cooperazioni descritte di seguito rappresentano elementi di continuità nella storia dell'INRiM, all'insegna di una sinergia che mira ad una ricerca sempre più integrata nella rete nazionale e internazionale.

10.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI

L'INRiM è firmatario per l'Italia del *Mutual Recognition Arrangement* (MRA)¹, redatto dal Comité International des Poids et Mesures (CIPM) in virtù del mandato ricevuto dagli Stati Membri, tra cui l'Italia, firmatari della Convenzione del metro (trattato internazionale firmato a Parigi il 20 maggio 1875 da 17 paesi, a cui ora aderiscono 59 stati). Il CIPM-MRA prevede il riconoscimento reciproco dei Campioni nazionali di misura e dei certificati di taratura emessi dagli Istituti Metrologici dei principali Paesi industrializzati. Ciò assicura al Paese l'equivalenza internazionale degli standard metrologici e, alle imprese italiane, la libera circolazione dei certificati emessi dai laboratori accreditati.

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

Mappatura dei settori metrologici INRiM

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

¹ Il CIPM-MRA è stato finora firmato dai rappresentanti di 106 istituti - da 62 Stati Membri, 40 Associati alla Conferenza generale dei pesi e misure e 4 organizzazioni internazionali (IAEA, JRC, WMO e ESA) - e copre altri 152 Istituti Designati come detentori di specifici campioni nazionali.

L'adesione al CIPM-MRA comporta un impegno costante di personale e di risorse allo scopo di mantenere e migliorare le *Calibration and Measurement Capabilities* (CMC) pubblicate nell'appendice C del *Key Comparison Data Base* (KCDB) del BIPM (<http://www.bipm.org/kcdb>). Nell'appendice sono registrati i risultati dei confronti chiave e supplementari e le capacità di misura degli NMI, riconosciuti e validati internazionalmente dal CIPM. A novembre 2020, nel database del BIPM, l'INRiM risulta aver prodotto 418 CMC (409 in fisica e 9 in chimica).

INRiM – CMC

<i>Field</i>		2016	2017	2018	2019	2020
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	119	119	115	115	114
L	Length	42	43	43	43	49
M	Mass	68	61	61	62	62
PR	Photometry and Radiometry	23	23	20	20	20
QM	Amount of substance	10	9	9	9	9
T	Thermometry	97	97	100	100	110
TF	Time and Frequency	14	12	12	12	12
Totals		415	406	402	403	418

Proprio per la sua collocazione centrale in ambito internazionale (NMI che costituisce per l'Italia il presidio della metrologia), nel triennio 2021-2023 l'INRiM dovrà raccogliere l'importante sfida legata alla ridefinizione di quattro delle sette unità di misura fondamentali, la cui revisione è stata approvata dalla 26^a Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) tenutasi a Versailles dal 13 al 16 novembre 2018.

A testimoniare la valenza delle collaborazioni internazionali dell'INRiM è la partecipazione a **EURAMET** (<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. EURAMET coordina la cooperazione nella ricerca metrologica, nella riferibilità delle misurazioni alle unità SI, nel riconoscimento internazionale dei campioni e delle CMC dei propri membri. L'INRiM è rappresentato, attraverso membri designati, in 11 dei 12 Comitati tecnici EURAMET e, in qualità di Istituto Metrologico Nazionale, coordina la partecipazione italiana insieme a università e industrie.

Dopo il successo dell'*European Metrology Research Programme* (**EMRP**), un programma ideato nell'ambito del VII Programma Quadro promosso dalla Comunità Europea allo scopo di sostenere la collaborazione fra gli NMI europei attraverso la condivisione di progetti di ricerca comuni, EURAMET ha promosso e realizzato, nell'ambito di Horizon 2020, l'*European Metrology Programme for Innovation and Research* (**EMPIR**), programma i cui progetti avranno termine nel 2024.

Terminata l'ultima call relativa ai progetti EMPIR nel 2020, EURAMET si sta preparando a lanciare, in accordo con la Commissione Europea e a partire dal 2021, una nuova iniziativa di ricerca basata sull'art. 185 del trattato di Lisbona, denominata *European Metrology Partnership* (**EMP**). Questo programma sarà organizzato in accordo all'art. 185 del trattato di Lisbona, diretto da EURAMET, e sarà finanziato al 50% da fondi comunitari e al 50% dagli stati aderenti all'iniziativa, per un ammontare complessivo di 700 M€. L'Italia ha deciso di cofinanziare la partnership con 49 M€, permettendo quindi agli istituti metrologici nazionali di partecipare ai progetti di ricerca, nel corso dei 7 anni, per 50 M€.

L'Assemblea Generale di EURAMET ha inoltre costituito, a partire dal 2018, gli *European Metrology Networks* (**EMN**), allo scopo di rispondere alle esigenze della metrologia europea in modo coordinato, formulando strategie comuni in ambiti quali la ricerca, le infrastrutture, il trasferimento di conoscenze e lo sviluppo di servizi. L'INRiM ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività di kick-off di cinque dei sei EMN costituiti, coordinandone uno.

Secondo lo spirito dell'accordo CIPM MRA, al fine di dare alla comunità internazionale degli NMIs una chiara prova di trasparenza e adeguatezza ai requisiti dell'accordo, l'INRiM riferisce annualmente circa il

funzionamento del proprio Sistema di Gestione della Qualità al Comitato direttivo dell'EURAMET TC-Q (Comitato tecnico per la qualità).

INRiM partecipa inoltre al progetto EURAMET 1123 “*On site peer review*”, in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali di Spagna (CEM – *Centro Español de Metrología*) e Portogallo (IPQ - *Instituto Português da Qualidade*), allo scopo di pianificare le Peer Visits annuali tra gli istituti partecipanti al progetto. Sono previste anche per il triennio 2021-2023 le consuete Peer Visits in collaborazione con i due istituti.

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

Per il triennio 2021-2023, l'INRiM ha stipulato 6 convenzioni di collaborazione con enti di ricerca internazionali, tra cui quella avviata, nel corso del 2020, con il National Institute of Metrology (NIM) of the State Administration for Market Regulation (SAMR) of the People's Republic of China; il MoU prevede accordi di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico e scadrà nel 2024.

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

Verranno riconfermate nel triennio 2021-2023 le associazioni ai seguenti organismi:

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

10.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI

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

Nel prossimo triennio, INRiM intende promuovere delle collaborazioni sinergiche con alcuni enti pubblici di ricerca, considerati complementari rispetto alle peculiarità dell'Istituto. In particolare, tenendo conto delle ricadute industriali della metrologia e della necessità di intercettare maggiormente il comparto produttivo, si intende esplorare la possibilità di collaborare con **Area Science Park (ASP)**. Infatti ASP, ente nazionale di ricerca e innovazione che nel 2018 ha festeggiato i suoi primi quarant'anni di attività, ha tra i suoi obiettivi

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

INRiM guarda con interesse anche ai due seguenti centri strategici nazionali, anche in riferimento alle tematiche definite nel Documento di Vision decennale 2020-2030, che definisce i focal points verso cui indirizzare la ricerca futura dell'Istituto:

- Energy Center Initiative (ECI), lanciato dal Politecnico di Torino nel 2016 per avviare una serie di azioni e progetti che forniranno supporto e consiglio strategico alle autorità locali, enti nazionali e transnazionali, sulle politiche e tecnologie energetiche da adottare. I due pilastri di ECI sono:
 - l'Energy Center House (EC-H): è un nuovo edificio all'interno del campus del Politecnico di Torino che ospiterà aziende, start-up e pubbliche amministrazioni ed altri soggetti attivi nei comparti dell'R&D, del management, e della policy e decision-making in campo energetico;
 - l'Energy Center Lab (EC-L): il Centro Interdipartimentale per l'Energia, che riunisce un gruppo multidisciplinare di ricercatori e docenti del Politecnico dedicato allo studio di tecnologie e sistemi integrati per la transizione ad una società più sostenibile verso l'uso dell'energia e l'ambiente.

L'Energy Center ha l'obiettivo di costruire network nazionali ed Europei, come incentivo per lo sviluppo di nuove iniziative imprenditoriali nel settore energetico attraverso le opportunità fornite dalla ricerca accademica, innovazione e partnership.

- Il centro di competenza Competence Industry Manufacturing 4.0 (CIM4.0), il polo di riferimento a livello nazionale per tutto ciò che riguarda il trasferimento tecnologico, la diffusione di competenze e specializzazioni legate a cicli produttivi tecnologicamente avanzati e la formazione e la cultura 4.0 delle aziende. Il polo intende essere un supporto strategico e operativo per le imprese manifatturiere orientate alla digitalizzazione dei processi industriali nell'ottica dell'industria 4.0., proponendosi come polo integrato di riferimento per ciò che riguarda la diffusione di competenze e buone pratiche, anche con azioni di formazione ed esperienze sul campo, in settori tecnologici ed ambiti industriali propri del territorio piemontese, ma assai diffusi anche in altre regioni italiane. CIM4.0 ha come partner industriali 23 grandi imprese, e due grandi centri di ricerca per le competenze tecnico-scientifiche (Politecnico e Università di Torino).

Per il triennio, l'INRiM ha al suo attivo 33 convenzioni con Università, Ministeri, enti di ricerca nazionali, associazioni, consorzi.

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

Sono infatti attive, e lo saranno nel triennio, due convenzioni stipulate con l'Università di Fisica dedicate all'attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" e di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" per il 35° ciclo; una terza convenzione vuole invece regolamentare i rapporti di collaborazione tra l'INRiM e UniTO nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università.

Sul fronte del Politecnico di Torino, un punto di contatto particolarmente prestigioso è rappresentato dal Corso di Dottorato in Metrologia, attivato attraverso una convenzione stipulata tra l'INRiM e PoliTO, enti che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico.

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

L'INRiM collabora da lungo tempo, e continuerà a farlo nel triennio 2021-2023, con importanti organismi nazionali che gravitano nell'ambito della metrologia, tra i quali si segnalano:

- CEI – Comitato Elettrotecnico Italiano: associazione di diritto privato, riconosciuta dallo Stato Italiano e dall'Unione Europea, responsabile in ambito nazionale della normazione tecnica in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni; propone, elabora, pubblica e divulga Norme tecniche che costituiscono il riferimento per la presunzione di conformità alla "regola dell'arte" di prodotti, processi, sistemi e impianti elettrici; il personale dell'INRiM partecipa alle attività di numerosi Comitati CEI, mettendo a disposizione la propria professionalità;
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione: associazione privata, senza fine di lucro, riconosciuta dallo Stato e dall'Unione Europea; studia, elabora, approva e pubblica le norme tecniche volontarie - le cosiddette "norme UNI" - in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario (tranne in quelli elettrico ed elettrotecnico); rappresenta l'Italia presso le organizzazioni di normazione europea (CEN) e mondiale (ISO); il personale INRiM partecipa attivamente ai Working Groups e alle Commissioni dell'UNI, che fruisce delle conoscenze e delle preziose competenze di esperti nei vari campi.

L'INRiM ha al suo attivo tra le collaborazioni nazionali anche le adesioni ad alcune società consorziali di varia natura, la cui continuità sarà garantita anche nel triennio; per quanto riguarda le adesioni di natura scientifica si segnalano i seguenti organismi:

- TOP-IX - Torino Piemonte Internet eXchange: consorzio costituito al fine di creare e gestire un NAP (Neutral Access Point, altrimenti denominato Internet eXchange - IX) per lo scambio del traffico Internet nell'area del Nord Ovest;
- Proplast: consorzio per la promozione della cultura plastica, gestore del Polo di Innovazione della Regione Piemonte operante nell'ambito tecnologico-applicativo "Nuovi materiali";
- SOC - Space Optical Clocks: consorzio a carattere scientifico per studiare la fattibilità di una missione per l'invio di un orologio ottico sulla ISS.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Storica è invece l'adesione dell'INRiM, in qualità di membro, ai Poli di Innovazione della Regione Piemonte elencati di seguito; l'Istituto garantirà l'associazione ai Poli anche nel triennio 2021-2023.

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

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

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

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

Il Polo MESAP “Smart Products and Manufacturing” si occupa di prodotti, di processi intelligenti e dei loro produttori, nella convinzione che solo la loro connessione possa accrescere la competitività del territorio piemontese. Per questo promuove e sostiene progetti e collaborazioni tra aziende, università e centri di ricerca per rafforzare le filiere tecnologiche e industriali. L'Agenda Strategica di Ricerca del Polo è costituita dalle tematiche di ricerca e di trasferimento tecnologico di interesse per i suoi associati (imprese e organismi di ricerca).

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

Infine, l'INRiM è membro storico dei seguenti organismi nazionali, ai quali aderirà anche nel triennio 2021-2023:

- APRE - Agenzia Promozione Ricerca Europea: si tratta di un'associazione di ricerca no-profit che fornisce ai propri associati (imprese, enti pubblici e privati) informazioni supporto e assistenza per la partecipazione ai programmi e alle iniziative di collaborazione nazionale ed europee (con particolare riferimento a Horizon 2020) nel campo della ricerca e del trasferimento dei risultati delle ricerche;
- AICQ - Associazione Italiana Controllo Qualità: è una federazione di associazioni territoriali senza fini di lucro, la cui finalità è di promuovere, favorire e realizzare lo studio, lo sviluppo e l'applicazione delle metodologie e dei sistemi per il miglioramento della cultura della qualità;

- Fondazione Torino Wireless: la sua missione consiste nel contribuire alla competitività del territorio, accelerando la crescita delle imprese che utilizzano le tecnologie come fattore strategico di sviluppo; fornisce supporto alle imprese nella partecipazione a bandi e progetti finanziati (misure regionali, nazionali o comunitarie) e nella ricerca di partner e l'avvio di collaborazioni fra imprese, anche attraverso la creazione di opportunità di networking con potenziali partner di ricerca, industriali e commerciali;
- SIF – Società Italiana di Fisica: si tratta di un ente morale con lo scopo di promuovere, favorire e tutelare lo studio e il progresso della Fisica in Italia; è il promotore e l'organizzatore della Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi", evento che consiste in un insieme di corsi che si tengono ogni anno a Varenna sul Lago di Como e al quale l'INRiM partecipa periodicamente con un corso, rivolto agli studenti di dottorato, dedicato alla Metrologia;
- Unimet: è un ente federato UNI, che si occupa della normativa nell'ambito dei metalli non ferrosi.

11 – LE PUBBLICAZIONI

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

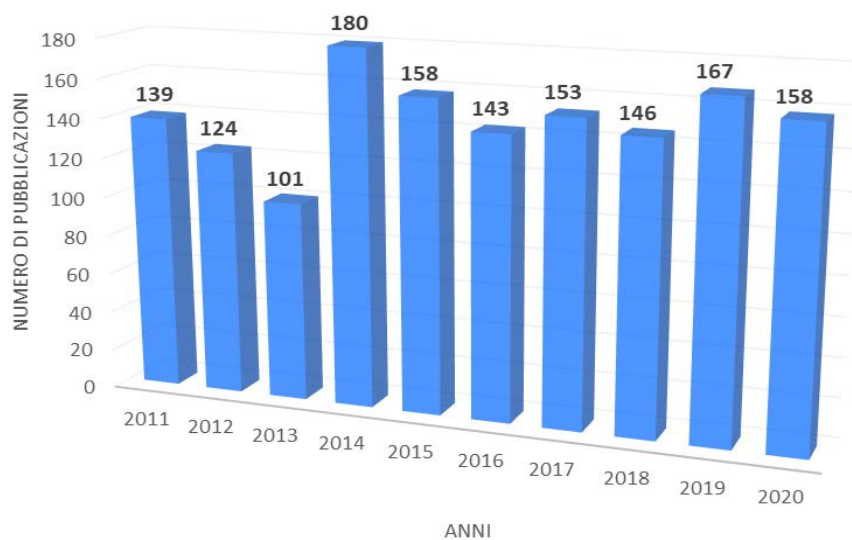
Lo strumento più utilizzato per conoscere il valore di una pubblicazione scientifica è l'impact factor (IF) che misura il numero medio di citazioni ricevute, nell'anno di riferimento considerato, dagli articoli pubblicati da una rivista scientifica nei due anni precedenti: è pertanto un indicatore della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

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

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

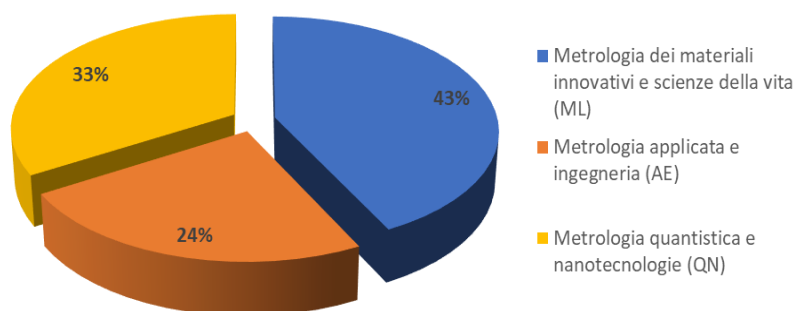
Nella tabella e nel grafico a seguire viene presentata la produzione scientifica dell'INRiM espressa in numero di articoli su rivista indicizzata (fonte: banca dati Web of Science di Clarivate Analytics) relativamente al periodo 2011-2020.

ANNO	N. PUBBLICAZIONI SU RIVISTA INDICIZZATA
2020	158
2019	167
2018	146
2017	153
2016	143
2015	158
2014	180
2013	101
2012	124
2011	139



Numero di pubblicazioni su rivista indicizzata relative al periodo 2011 - 2020.

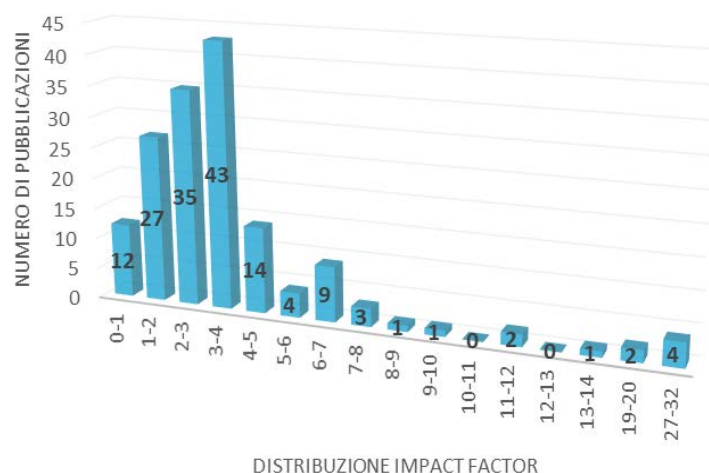
Il grafico seguente riporta invece la distribuzione percentuale delle 158 pubblicazioni indicizzate 2020 nelle tre Divisioni dell'INRiM.



Distribuzione, nelle Divisioni, delle pubblicazioni su rivista indicizzata del 2020.

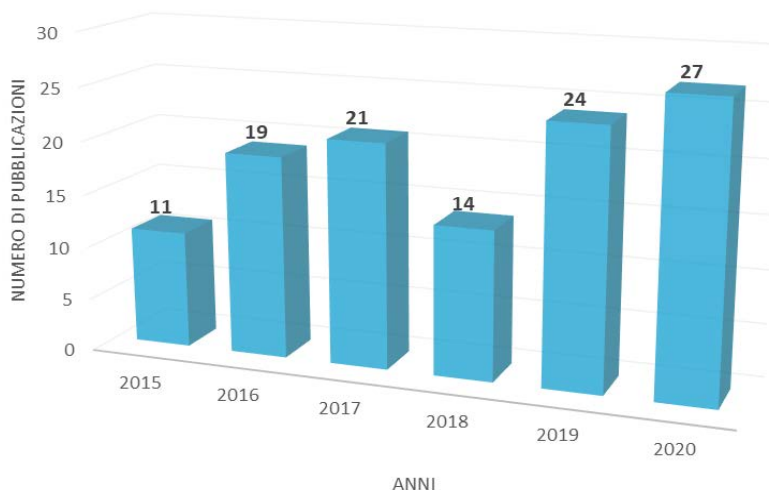
Per l'elaborazione del grafico che segue i parametri utilizzati si basano sostanzialmente su due criteri qualitativi:

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



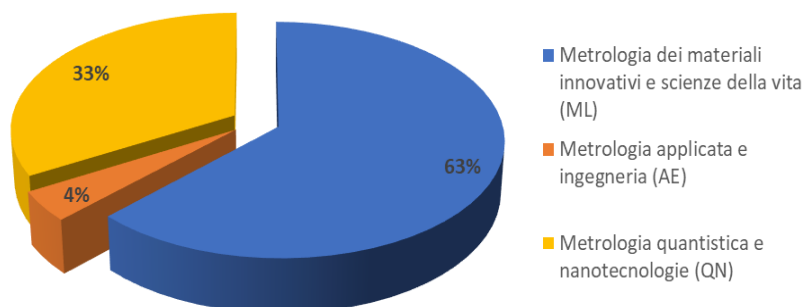
L'istogramma qui proposto indica sulle ascisse l'IF delle pubblicazioni, scalato per valori da 0 a 32, e nelle ordinate il numero di pubblicazioni raggruppate per IF.

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



Pubblicazioni 2015-2020 con IF maggiore di 5.

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



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

Il dato complessivo 2020 delle pubblicazioni dell'INRiM mostra un totale di n. 158 pubblicazioni censite nella banca dati Web of Science, a cui devono essere aggiunte le pubblicazioni non indicizzate (libri, capitoli di libri, articoli su riviste non indicizzate, articoli su proceedings e rapporti tecnici) che verranno raccolte in fase di consuntivo.

12 – SERVIZI ATTIVITA' CONTO TERZI

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

L'attività di taratura e misura è supportata dalle oltre 400 capacità di misura e taratura (CMC) riconosciute a livello internazionale, mantenute dall'INRiM all'interno dell'Accordo di Mutuo Riconoscimento CIPM-MRA a supporto dell'esportazione e del libero scambio delle merci. Tali CMC sono pubblicate nell'Allegato C dell'Accordo e sono consultabili sul KCDB del BIPM (<https://www.bipm.org/kcdb/>) ed i certificati di taratura e misura emessi sono contraddistinte dal logo CIPM MRA. Ulteriori capacità e servizi di taratura e misura sono erogati su richiesta dell'utenza, nell'ambito delle funzioni di Istituto Metrologico Primario italiano.

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

Sulla base delle esigenze dei committenti, si organizzano periodici circuiti di confronti interlaboratorio (ILC) di taratura nelle diverse aree della metrologia e l'istituto, nel suo ruolo di istituto metrologico nazionale, è accettato da ACCREDIA come fornitore di ILC (ACCREDIA RT 36 pt 5.1)

L'INRiM è inserito nel progetto "Laboratori in rete" del Mesap, il Polo di innovazione della Regione Piemonte dedicato agli Smart Products e allo Smart Manufacturing, rivolto alla creazione di una rete di laboratori pubblici e privati piemontesi finalizzato a favorire l'investimento e l'utilizzo in comune di installazioni, attrezzature, infrastrutture di ricerca, sperimentazione, prova e certificazione, nonché asset innovativi intangibili.

All'interno del progetto, è previsto il riesame dell'offerta dei servizi proposti dall'istituto alle imprese aderenti al Mesap, attraverso il loro portale.

L'impegno strategico nel contesto dei servizi su indicati e nel loro mantenimento, richiedono risorse certe sia in termini di personale e apparecchiature, sia per l'adeguamento dei laboratori e lo sviluppo di nuove facilities, oltre che un modello organizzativo che consenta di supportare e avviare nuovi e/o migliori servizi.

A tal scopo si prevede di continuare i lavori del tavolo di lavoro sulle attività conto terzi con il supporto della Settore Interdivisionale della Direzione Scientifica, per concludere la raccolta di informazioni su queste attività ed effettuare una dettagliata analisi istruttoria delle attività di servizio svolte dall'istituto.

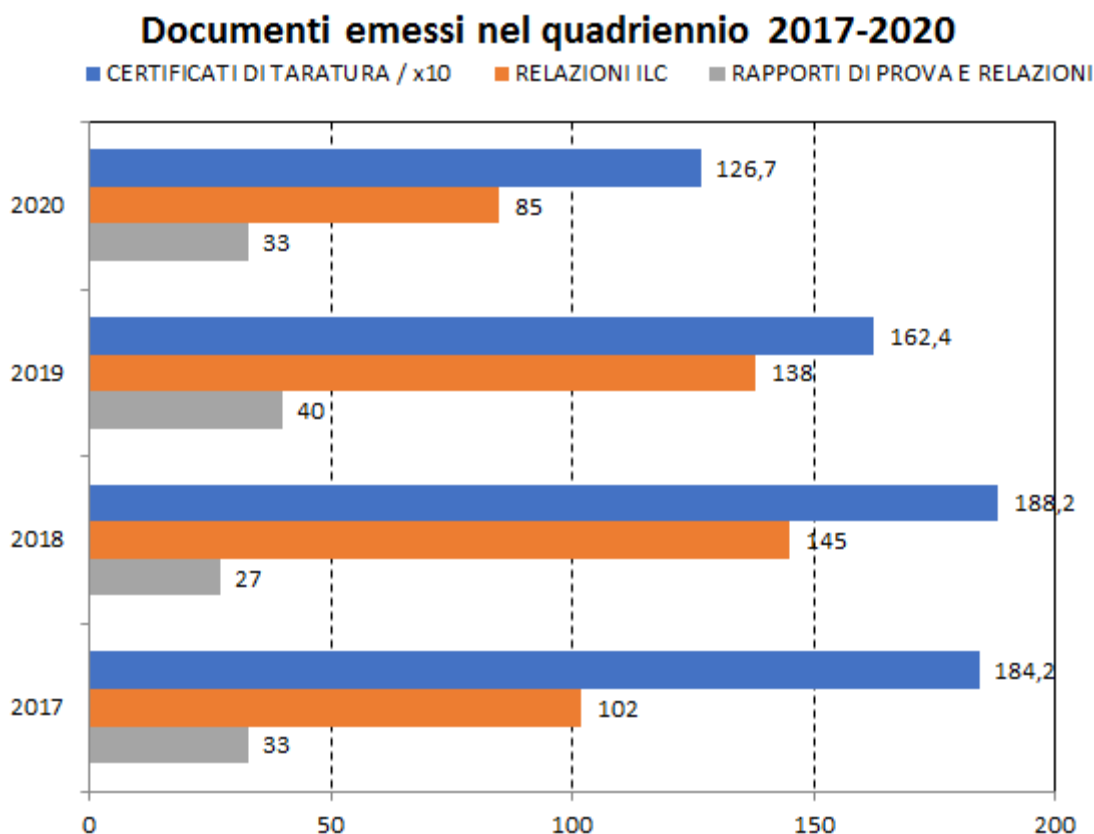
Al fine di implementare il processo di dematerializzazione dei documenti e mettersi in condizioni di offrire nuovi servizi digitali, si prevede nel triennio l'implementazione dell'attuale software di gestione commesse.

Nel primo anno, partendo dal progetto redatto nel 2018, si prevede il suo riesame, lo sviluppo del software, la sua sperimentazione e la messa in servizio. Successivamente tale sistema sarà integrato con moduli aggiuntivi che prevedono la gestione della strumentazione interna e dei committenti, la gestione degli incarichi del personale e la gestione delle registrazioni tecniche.

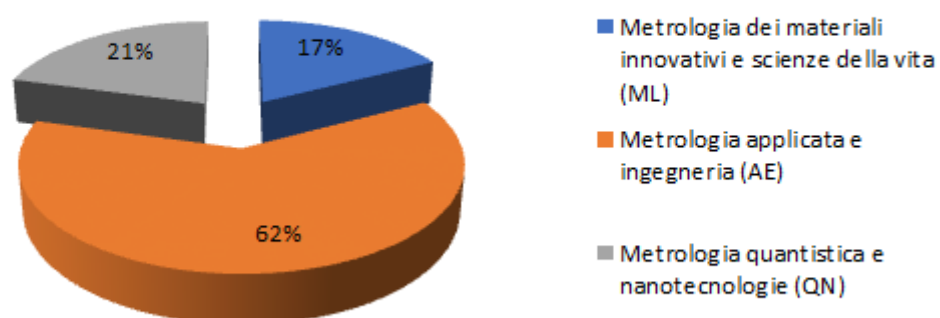
Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi ai documenti emessi nel passato quadriennio.

ANNO	CERTIFICATI DI TARATURA	RELAZIONI ILC	RAPPORTI DI PROVA E RELAZIONI
2017	1842	102	33
2018	1882	145	27
2019	1624	138	40
2020	1267	85	33

Per il triennio 2021-2023 si prevede il mantenimento degli attuali servizi e lo sviluppo di nuove capacità di misura e relativi servizi a supporto delle richieste di riferibilità, anche in nuove aree scientifiche, provenienti dai settori dell'industria e della pubblica amministrazione, contestualizzando l'offerta e i risultati ottenuti per favorire l'avanzamento delle conoscenze sia a fini produttivi che a fini sociali.



Documenti emessi dalle Divisioni nel 2020



13 – I PROGETTI

L'INRiM finanzia la propria attività di ricerca partecipando ai programmi di finanziamento di ricerca internazionali, europei, nazionali e regionali, ma anche sottoscrivendo convenzioni e accordi con industrie nell'ambito dell'attività di ricerca commissionata; dunque l'INRiM integra le risorse del FOE con l'attività progettuale di cui la tabella e il relativo grafico a seguire mostrano una sintesi.

ENTE FINANZIATORE	NUMERO PROGETTI PER TIPOLOGIA DI FINANZIAMENTO	FINANZIAMENTO TOTALE PROGETTI (k€)	% SUL TOTALE
Unione Europea (H2020)	56	9.507	57%
Enti di ricerca, Organizzazioni, Agenzie (internazionali)	4	325	2%
MUR, MISE, Università, Enti di Ricerca, Regione Piemonte e Fondazioni (nazionali)	9	4.288	25%
Industrie nazionali e internazionali	7	2.621	16%
Totale	76	16.741	100%

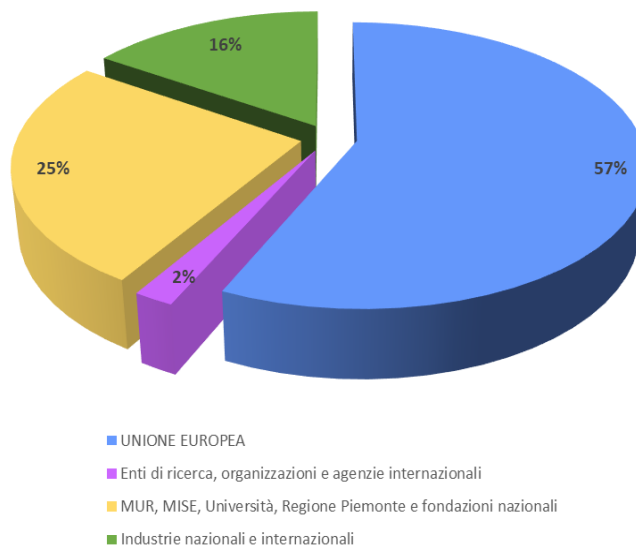


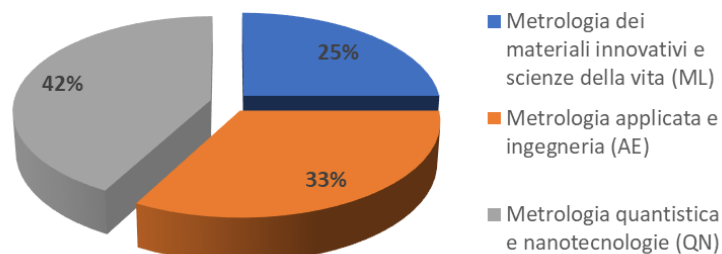
Fig. 1 - Distribuzione dei finanziamenti dei progetti attivi nel triennio 2021-2023.

I dati sopra rappresentati non si riferiscono ai finanziamenti incassati o da incassare nel triennio 2021-2023 ma riportano il finanziamento totale, come da contratto, dei progetti attivi nel triennio; sono stati considerati tutti i progetti attivi nel periodo, comprendendo anche quelli iniziati prima del 2021. Considerando la diversa durata della vita di ciascun progetto, il periodo coperto dai 76 progetti attivi nel triennio 2021-2023 si estende dal 2015 al 2024.

Rispetto all'analoga tabella del PTA 2020-2022, si evidenzia un netto calo dei finanziamenti, dovuto anche al fatto che i progetti considerati da questo PTA sono solo quelli attualmente censibili per il triennio 2021-2023, ai quali si aggiungeranno quelli che verranno acquisiti nel 2021. I progetti in avvio nel 2021 non sono qui riportati in quanto i relativi contratti sono in via di consolidamento.

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

Il prospetto seguente mostra la numerosità, in percentuale, dei 76 progetti presi in esame, nelle tre Divisioni dell'INRiM, indipendentemente dalle tipologie riportate nella tabella sopra.



Distribuzione dei progetti attivi nelle Divisioni.

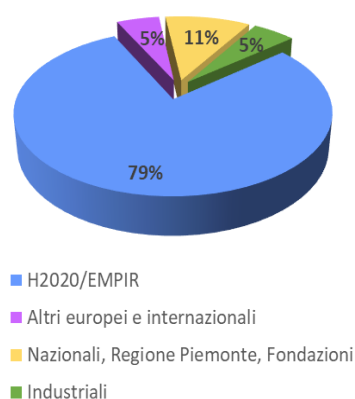
Nei grafici a seguire sono invece indicate le distribuzioni percentuali di ciascuna Divisione riferite a:

- numero dei progetti, suddivisi secondo le tipologie descritte nella tabella riportata sopra;
- finanziamento da progetti, suddivisi secondo le tipologie descritte nella tabella riportata sopra.

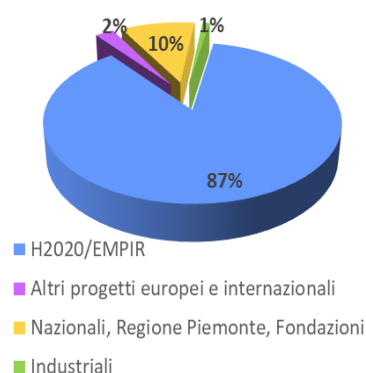
A differenza del grafico iniziale (fig. 1) che tiene conto di tutti i progetti dell'INRiM distinti per tipologia, qui non sono inclusi i progetti della Regione Piemonte *PiQuET - Piemonte Quantum Enabling Technology* (INFRA-P) e *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare* (INFRA-P), in quanto progetti di natura interdivisionale per la creazione di infrastrutture strategiche; il finanziamento totale ricevuto dall'INRiM per i due progetti, che si sviluppano tra il 2018 e il 2021 (i progetti sono stati prorogati a causa dell'emergenza Covid) è di 2.740 k€.

Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)

Distribuzione progetti attivi nel triennio - ML

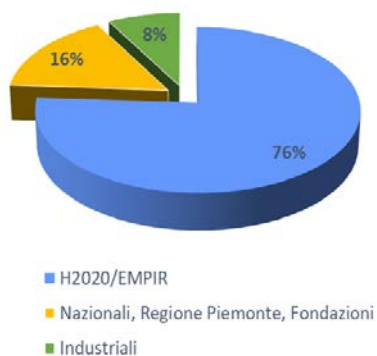


Distribuzione finanziamenti da progetto - ML

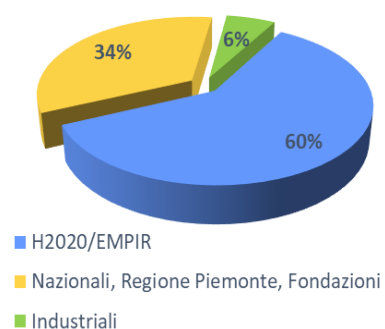


Divisione Metrologia applicata e ingegneria (AE)

Distribuzione progetti attivi nel triennio - AE

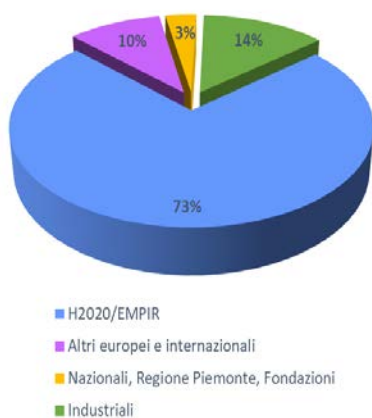


Distribuzione finanziamenti da progetto-AE

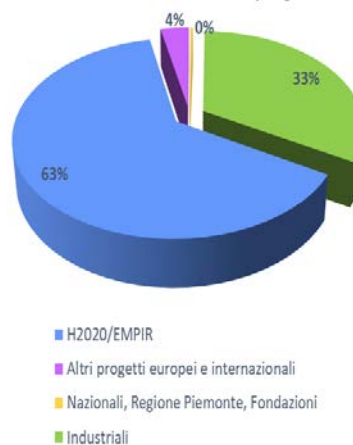


Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

Distribuzione progetti attivi nel triennio - QN



Distribuzione finanziamenti da progetto-QN



I progetti finanziati dalla Commissione Europea in cui è coinvolto l'INRiM sono 56 e, poiché costituiscono il 57% del totale dei finanziamenti esterni, sono un segnale di forte partecipazione dei ricercatori INRiM alle attività di ricerca scientifica di interesse europeo. I progetti fanno tutti parte di Horizon 2020, il programma quadro dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione per il periodo 2014-2020. H2020 si propone di contribuire alla realizzazione di una società basata sulla conoscenza e sull'innovazione, orientata verso le grandi priorità indicate dall'Agenda europea per il 2020: crescita intelligente, sostenibile e inclusiva. Vuole favorire lo sviluppo della ricerca scientifica di altissima qualità, rimuovendo le barriere all'innovazione e incoraggiando le partnership fra pubblico e privato. Il programma si struttura su tre priorità: eccellenza scientifica, leadership industriale, sfide della società.

Di grande rilievo per l'Istituto è il progetto vinto in ambito ERC (*European Research Council*), l'organismo dell'Unione europea che finanzia i ricercatori di eccellenza di qualsiasi età e nazionalità che intendono svolgere attività di ricerca di frontiera negli Stati membri dell'UE o nei paesi associati. L'INRiM è coordinatore del progetto dal titolo *Pre-commercialization of stable and compact lasers for atom based quantum technologies (SLAQ)* che, iniziato a maggio 2020, terminerà a ottobre 2021 portando all'INRiM un finanziamento di 150 k€ complessivi. Da segnalare anche la partecipazione dell'INRiM, in qualità di partner terzo, al progetto ERC *Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)*, progetto coordinato dal Politecnico di Torino ma "unfunded" per l'INRiM.

In ambito MSCA (Marie Skłodowska Curie Actions) sono in corso, fino al 2023, le attività legate ai progetti *Magnetoelectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetoelectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)* e *Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)*, ai quali l'INRiM partecipa in qualità di partner con un finanziamento complessivo di 522 k€.

Proseguiranno nel triennio anche i seguenti progetti H2020, finanziati per un totale di 1542 k€:

- *Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)*,
- *Photonic and nAnomeTric High-sensitivity biO-Sensing (PATHOS)* e
- *Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)*
- *Clock Network Services - Design Study (CLONETS-DS)* (coordinato da GEANT VERENIGING – Netherlands)
- *Highly sensitive detection of single microwave photons with coherent quantum network of superconducting qubits for searching galactic axions (SUPERGALAX)* (coordinato dal CNR)
- METROFOOD-PP (METROFOOD-RI Preparatory Phase Project) (coordinato dall'Enea; INRiM partecipa come partner terzo)

Dei 56 progetti finanziati dall'Unione Europea tramite Horizon 2020, 46 sono progetti EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research), il programma avviato nel 2014 da EURAMET (la rete europea per la promozione della collaborazione per la ricerca e lo sviluppo tecnologico nel campo della metrologia) pensato come parte integrante di Horizon 2020 e destinato alla ricerca nel campo della scienza delle misure.

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

La seguente tabella riassume i progetti EMPIR che saranno sviluppati nel triennio 2021-2023, indicando in grassetto i 15 progetti coordinati dall'Istituto; come già specificato, non sono riportati i progetti in avvio nel 2021, ancora in via di consolidamento.

CODICE PROGETTO	ACRONIMO PROGETTO	FINANZIAMENTO PER INRiM (k€)
EMPIR 19ENV08	Advanced aerosol metrology for atmospheric science and air quality (AEROMET II)	100
EMPIR 19ENG05	High throughput metrology for nanowire energy harvesting devices (NanoWires)	140
EMPIR 19ENG06	Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion (HEFMAG)	350
EMPIR 19NRM05	Measurement methods and test procedures for assessing accuracy of instrument transformers for power quality measurements (IT4Q)	189
EMPIR 19RPT02	Improvement of the realisation of the mass scale (RealMass)	50
EMPIR 19ENG07	Metrology for enhanced reliability and efficiency of wind energy systems (Met4Wind)	120
EMPIR 19NET01	Support for a European Metrology Network on advanced manufacturing (AdvManuNet)	51
EMPIR 19SIP03	Climate Reference Station (CRS)	50
EMPIR 19ENV05	Stable isotope metrology to enable climate action and regulation (STELLAR)	100
EMPIR 19SIP06	Increasing the comparability of extreme air temperature measurements for meteorology and climate studies (COAT)	25
EMPIR 19NRM07	Support for standardisation of high voltage testing with composite and combined wave shapes (HV-COMP)	71
EMPIR 19NRM04	Standardisation of structural and chemical properties of graphene (ISO-G-SCoPE)	90
EMPIR 19NRM06	Metrology for testing the implementation security of quantum key distribution hardware (MeTISQ)	185
EMPIR 19RPT01	Quantum traceability for AC power standards (QuantumPower)	51
EMPIR 19NET02	Support for a European Metrology Network on quantum technologies (EMN-Quantum)	202
EMPIR 18SIB04	Towards quantum-based realisations of the pascal (QuantumPascal)	270
EMPIR 18SIB08	Comprehensive traceability for force metrology services (ComTraForce)	210
EMPIR 18SIB01	Large-scale dimensional measurements for geodesy (GeoMetre)	201
EMPIR 18RPT01	Traceability for contact probe and stylus instrument measurements (ProbeTrace)	15
EMPIR 18SIB02	Realising the redefined kelvin (Real-K)	230
EMPIR 18NRM03	Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation (INCIPIT)	60
EMPIR 18SIB07	Graphene impedance quantum standard (GISQ)	250
EMPIR 18SIB10	Self-calibrating photodiodes for the radiometric linkage to fundamental constants (chipSCALE)	150
EMPIR 18SIB06	Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks (TiFOON)	300
EMPIR 18SIB05	Robust Optical Clocks for International Timescales (ROCIT)	250
EMPIR 18NET03	Support for a European Metrology Network on smart electricity grids (SEG-Net)	40
EMPIR 18HLT06	Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept (RaCHy)	400
EMPIR 18NET05	Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics (MathMet)	20
EMPIR 18HLT05	Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers (QUIERO)	550
EMPIR 18NET02	Support for a European Metrology Network on traceability in laboratory medicine (TraceLabMed)	40
EMPIR 17IND01	Procedures allowing medical implant manufacturers to demonstrate compliance with MRI safety regulations (MIMAS)	200
EMPIR 17IND06	Metrology for the next-generation digital substation instrumentation (FuturGrid II)	102

EMPIR 17FUN08	Metrology for topological spin structures (TOPS)	150
EMPIR 17ND03	Large Volume Metrology Applications (LAvA)	175
EMPIR 17NRM03	Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry (EUCoM)	120
EMPIR 17IND12	Metrology for the Factory of the Future (Met4FoF)	163
EMPIR 17IND04	Enhancing process efficiency through improved temperature measurement 2 (EMPRESS 2)	77
EMPIR 17NRM05	Advancing measurement uncertainty - comprehensive examples for key international standards (EMUE)	50
EMPIR 17IND14	Precision Time for Industry (WRITE)	363
EMPIR 17FUN03	Ultra-stable optical oscillators from quantum coherent and entangled systems (USOQS)	360
EMPIR 17FUN07	Coulomb Crystals for Clocks (CC4C)	200
EMPIR 17FUN01	Light-matter interplay for optical metrology beyond the classical spatial resolution limits (BeCOMe)	200
EMPIR 17FUN06	Single-photon sources as new quantum standards (SIQUST)	130
EMPIR 17FUN10	Josephson travelling wave parametric amplifier and its application for metrology (ParaWave)	199
EMPIR 17RPT03	A digital traceability chain for AC voltage and current (DIG-AC)	53
EMPIR 17RPT04	A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges (VersiCaL)	65

I progetti EMPIR dell'ultima call (di durata triennale) saranno ancora attivi fino al 2024, dopodiché nel 2021, nell'ambito del nuovo programma europeo di ricerca Horizon Europe (2021-2027), inizierà un nuovo programma di ricerca settennale focalizzato sulla metrologia, denominato European Metrology Partnership (EMP).

Questo programma sarà organizzato in accordo all'art. 185 del trattato di Lisbona, diretto da EURAMET, e sarà finanziato al 50% da fondi comunitari e al 50% dagli stati aderenti all'iniziativa, per un ammontare complessivo di 700 M€. Il programma pubblicherà annualmente calls per progetti di ricerca sui seguenti macro temi: green deal, industria, ricerca fondamentale in metrologia, integrazione della metrologia europea, normative, salute e sviluppo di potenziali di ricerca in piccoli NMI.

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

Dei 4 progetti indicati nella tabella riassuntiva, uno riguarda il supporto dell'INRiM al *Galileo Reference Center (GRC MS 2 e GRC MS3)* nell'ambito di una collaborazione con l'Agenzia Spaziale Francese (CNES - Centre Spatial de Toulouse).

Sempre in ambito spaziale, proseguiranno nel triennio altri due progetti che hanno come interlocutori l'Agenzia Spaziale Francese, l'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare e l'European Space Agency (ESA). Il progetto *Egnos-SPMS*, con l'obiettivo di contribuire alla validazione degli aspetti di timing di EGNOS (il sistema europeo di completamento al GPS), e il progetto *Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)* che mira a sostituire accelerometri basati su sensori capacitivi con altri basati su interferometria laser.

Di particolare rilievo il progetto avviato con la NATO, l'Organizzazione del Trattato dell'Atlantico del Nord per la collaborazione nel settore della difesa, dal titolo *Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)*, che proseguirà per tutto il 2021.

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

Il MUR, attraverso risorse accantonate sul Fondo Ordinario, ha promosso e sostenuto l'incremento qualitativo dell'attività scientifica nell'ambito di una politica orientata a migliorare l'efficacia e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, assegnando annualmente Fondi Premiali su progetti di ricerca selezionati per merito. Con la nota MIUR n. 850 del 27 ottobre 2017 il MIUR ha predisposto il finanziamento Premiale complessivo di k€ 2.919,575, assegnando all'INRiM 2.072,872 k€ sulla base dei risultati della Valutazione della Qualità della Ricerca 2004-2010, e 846,704 k€ destinati al finanziamento di specifici progetti di ricerca, anche in collaborazione con altri enti. L'INRiM è stato coordinatore di due progetti, avviati nel 2018 e giunti alla conclusione alla fine del 2020, per i quali ha ottenuto un finanziamento complessivo di k€ 700 circa.

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

- *MUR (Progetto Premiale) - New sensors based solutions for sustainable de-production (SENSEI)*: il progetto si propone di sviluppare tecnologie/metodologie abilitanti identificando un nuovo modello di Fabbrica Cyber-Fisica Intelligente e di applicare questo stesso modello alla gestione del fine vita dei prodotti – siano essi beni di consumo (per esempio Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), prodotti industriali secondari o prodotti derivanti dall'attività di costruzione o demolizione.
- *MUR (Progetto Premiale) - Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease (Nano4Brain)*: il progetto è nato dal desiderio di riunire sotto un tema comune laboratori attivi in campi molto diversi promuovendo l'interazione tra nanotecnologie, microelettronica, analisi computazionale informatica e ricerca in neuroscienze di base. Questa rete di ricercatori implementerà un approccio multidisciplinare per la identificazione di biomarkers molecolari e fisiologici di modelli genetici di malattie cerebrali e per la comprensione dei meccanismi cellulari alla base di queste patologie.

Nell'ambito del MUR, proseguirà nel triennio il progetto PRIN 2017 *SustMetMat*.

Termineranno nel 2021 i progetti *LENA* e *MISE Contatori*, attivati nell'ambito di accordi di collaborazione scientifica rispettivamente con l'Università di Pavia e il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

Proseguiranno invece per tutto il triennio le attività legate al progetto *ViRaDEP*, finanziato, tramite bando competitivo, da Fondazione CRT con 22 k€.

A testimoniare il ruolo attivo dell'INRiM nell'intrattenere rapporti proficui anche con la realtà locale in cui è inserito, sono i progetti, particolarmente importanti per gli introiti incassati dall'Istituto, finanziati dalla Regione Piemonte; ottenuti attraverso il Bando "INFRA-P "Sostegno a progetti per la realizzazione, il rafforzamento e l'ampliamento di IR pubbliche" e il Programma Operativo Regionale POR-FESR 2014/2020, porteranno all'INRiM un finanziamento complessivo di 2.840 k€, che permetterà la nascita di nuove infrastrutture dedicate (già in costruzione):

- *PiQuET - Piemonte Quantum Enabling Technology* (INFRA-P): ha come obiettivo la nascita di una nuova Infrastruttura di Ricerca interdivisionale (coordinata da INRiM, con la partecipazione di Politecnico di Torino e Università di Torino) dedicata a due ambiti fondamentali delle Tecnologie Quantistiche, ovvero lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati e gli orologi atomici e comunicazione quantistica (distribuite sul territorio tramite fibra ottica) (1.900 k€);
- *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare* (INFRA-P): si pone l'obiettivo di garantire il rispetto delle normative internazionali e di essere di supporto alle aziende per le misure necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per l'imballaggio alimentare (840 k€);

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

Tutti e tre i progetti sono stati prorogati al 2021 a causa dell'emergenza Covid.

I finanziamenti provenienti dai progetti commissionati dall'industria costituiscono una parte minima dei finanziamenti esterni dell'INRiM; nel grafico sopra riportato infatti risultano essere un quarto di quelli provenienti dai progetti H2020 e la metà di quelli introitati attraverso i progetti nazionali.

Sono dunque necessari dei miglioramenti per diventare più competitivi in progetti con ricadute industriali, poichè l'INRiM ne ha le potenzialità. La ricerca dell'Istituto, infatti, è contraddistinta anche da presupposti che favoriscono il processo di trasferimento di conoscenza e tecnologia verso il mondo produttivo, attraverso strumenti e metodi innovativi capaci di attrarre l'interesse delle aziende.

Dei 7 progetti con industrie citati nella tabella riassuntiva, cinque arriveranno alla conclusione nel 2021, portando all'INRiM un finanziamento complessivo di 2.241 k€; di particolare importanza, poichè riguarda attività legate all'Agenzia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare (European GNSS Agency - GSA), è il progetto *TSP GSOp*, che da solo ha portato nelle casse dell'Istituto 1.864 k€ in quattro anni. Di seguito si riporta l'elenco dei progetti e delle aziende committenti:

- *Time Service Provider (TSP GSOp)*, finanziato da GNSS tramite Spaceopal;
- *Attività di validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)*, commissionato dall'azienda IAM Srl;
- *Modelli di architettura e di gestione del sistema e delle reti elettriche e della regolazione che favoriscano l'integrazione di generazione rinnovabile e non programmabile, autoproduzione, accumuli, comunità dell'energia e aggregatori*, commissionato da RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE SpA;
- *"Tecnologie, architetture e standard per Fiber Optic Quantum Communications" (FIBEROPTIC)*, commissionato da Leonardo SpA;
- *Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)* commissionato da OpenFiber Spa.

Continueranno invece, nel corso del triennio 2021-2023, le attività sviluppate dai seguenti progetti, per un finanziamento complessivo di 180 k€:

- *Concessione di una licenza di sfruttamento del know-how nel settore delle misure di durezza per le scale rockwell, brinell, vickers e marten*, commissionato da LTF S.p.A.;
- *GNSS Smart Traceability and Anti-spoofing (GALIST)*, commissionato dall'azienda ORIGOSAT.

14 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE

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

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

L'attività di Terza Missione può essere suddivisa in quella di *valorizzazione economica* della conoscenza, e di *coinvolgimento culturale e sociale* (*public engagement*). In questa classificazione, un dubbio può sorgere sulla collocazione delle attività di trasferimento della conoscenza alle imprese, quali corsi e seminari di aggiornamento tecnico, perché queste presentano aspetti d'entrambe le categorie. Esse verranno ricomprese nella prima categoria, ritenendo che la destinazione alle imprese faccia prevalere l'aspetto economico su quello sociale.

14.1 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: L'UFFICIO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO (UTT)

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

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

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

14.1.1 - AMBITI DI ATTIVITÀ

In accordo alla declaratoria delle Divisioni, si individuano i seguenti ambiti d'attività di Terza Missione:

1. Tutela del diritto di proprietà intellettuale (IPR – *Intellectual property right*).

Della vasta casistica possibile di IPR, le forme ritenute più probabili ed interessanti in INRiM sono:

- a. i brevetti, sia d'invenzione sia d'utilità;
- b. la cessione di know how;
- c. il diritto d'autore, in particolare per il software.

La creazione e sfruttamento della proprietà intellettuale è al centro delle attenzioni di tutti i valutatori della ricerca, soprattutto di quella con ricaduta tecnologica. Le statistiche indicano che il numero di brevetti depositati dall'Italia, pur sostenuto (3 % del totale mondiale), non è al pari con quello di altre nazioni europee,

Germania in testa (15 %)². I brevetti e le altre forme di privativa possono rappresentare una concreta opportunità di sviluppo economico per la nazione, quando sfruttati. Il portafoglio IPR dell'INRiM consiste a fine 2020 di 16 famiglie brevettuali attive (più 7 dismesse), e 4 licenze di concessione di know how e di distribuzione di software. Purtroppo, meno ricco è invece il numero di brevetti che sono stati o sono effettivamente sfruttati.

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

L'esperienza dei grandi brevettatori insegna che trova effettivo sfruttamento una frazione piccola di brevetti in portafoglio, non necessariamente i più interessanti scientificamente, e spesso in grado di compensare, e talvolta superare, i costi dell'intero portafoglio. Date le piccole dimensioni dell'INRiM e la prevedibile consistenza limitata del suo portafoglio, questa legge probabilistica dei grandi numeri gioca a sfavore. La probabilità di successo potrebbe aumentare perseguendo i brevetti *ex-ante*; essi discendono attività di ricerca congiunta con, o commissionata da, soggetti dichiaratamente interessati, e il cui sfruttamento è regolato fin dall'inizio negli accordi contrattuali. Per i brevetti *ex-post* (depositati prima d'individuare i licenziatari), è invece richiesta azione di promozione presso le aziende.

2. Creazione di spin-off.

Si tratta d'iniziative imprenditoriali che emanano dall'INRiM, perché i promotori sono dipendenti INRiM e/o perché l'oggetto dell'impresa nasce in tutto o in parte dalla ricerca svolta in INRiM.

Al momento non c'è esperienza: nessun spin-off è mai nato in INRiM. Tuttavia si ritiene che il potenziale esista, se sostenuto e stimolato³.

La nascita di spin-off richiede la regolazione di un potenziale conflitto d'interessi: perché e in che limiti e termini risorse pubbliche che appartengono all'INRiM (finanziarie, beni mobili e immobili e immateriali, IPR, personale dipendente, ecc.) vengono cedute ad un soggetto privato che opera sul mercato (lo spin-off). Come per i brevetti, anche per gli spin-off è necessario un compromesso: da un lato la terzietà dell'INRiM, ente pubblico, che non può e non deve privilegiare indebitamente singoli soggetti privati a spese della collettività; dall'altro, l'obiettivo di promozione dell'economia mediante la formazione di nuove aziende innovative. Gli accordi fra INRiM e spin-off nascenti non possono che essere presi individualmente, ma è necessario un quadro di riferimento, un regolamento INRiM che regoli la materia. Ciò renderebbe più celeri e determinate le azioni dell'INRiM, e chiarirebbe il contesto a chi stesse considerando d'intraprendere.

3. Collaborazione di ricerca con le imprese.

La ricerca industriale è talvolta considerata la sorella minore di quella scientifica. Mentre è vero che spesso nella prima si adattano e utilizzano soluzioni trovate dalla seconda, dall'altra parte la realtà pratica supera spesso l'immaginazione quanto a proposizione di quesiti. Dalla domanda viva dal campo possono venire

² Fonte: Rapporto annuale 2018 dell'EPO – *European Patent Office*.

³ L'unica esperienza passata fu la partecipazione alla *Start Cup CNR – Il Sole 24 ore* del 2012, cui inaspettatamente parteciparono ben tre proposte dall'INRiM, di cui una addirittura vinse il premio nella categoria *Industry*. Si trattò però di un episodio soltanto; il contesto in INRiM non era maturo per l'accompagnamento alla realizzazione, e nessuna delle tre proposte, nemmeno la vincitrice, divenne mai effettivamente una start-up.

avanzamenti anche generali, permanenti e non solo pratici, altrimenti celati alla semplice analisi teorica o di laboratorio.

Dunque, questo tipo di ricerca non soltanto può essere di beneficio per l'impresa o imprese coinvolte, ma anche per l'INRiM, come terreno in cui misurare e affinare le proprie capacità.

Un interesse particolare va rivolto ad imprese che, per dimensione ed importanza, costituiscono un attore riconosciuto a livello nazionale e/o internazionale. Per queste, l'azione dell'INRiM dev'essere proattiva nell'esplorazione le potenzialità comuni. L'individuazione di tali aziende dovrà esser fatta con riguardo ai settori maggiormente presenti in Italia e sul territorio locale.

4. Trasferimento strutturato della conoscenza alle imprese.

La diffusione della cultura metrologica, di base e settoriale, porta alle imprese italiane grande beneficio e recupero competitivo. È esperienza comune di chi s'è impegnato in queste attività la sensazione dell'estensione di questa necessità e di quanto di buono si potrebbe fare concretamente. S'incontrano spesso aziende alle prese con problemi la cui soluzione è nota sul piano scientifico ma sconosciuta all'interessato.

Quella che può apparire come un'azione a singolo flusso, dall'INRiM alle aziende, è in realtà ben più feconda anche nel flusso inverso, per due motivi:

- Il contatto e la prossimità con le aziende, e con le persone che queste esprimono, permette d'individuare i bisogni reali di oggi e, in prospettiva quelli di domani. Ciò è di grande beneficio per l'INRiM come bussola per orientare il proprio intervento in particolare nella ricerca applicata e industriale.
- Le aziende che intendano seriamente investire in ricerca e innovazione, ben difficilmente l'affiderebbero a sconosciuti. Non basta essere negli elenchi degli Enti di ricerca per avere la fiducia delle imprese, bisogna conquistarla sul campo. Le attività di trasferimento della conoscenza, soprattutto quelle strutturate, forniscono nel tempo proprio questo terreno in cui coltivare la fiducia: quando un'azienda avrà un problema specifico che intenda indagare, sarà più disponibile a chiedere aiuto all'INRiM.

Il trasferimento della conoscenza trova il suo contesto ideale all'interno di iniziative contenitrici che riescano a garantire una stabilità di rapporti nel tempo. Ciò permette la formazione di reti, non soltanto nel rapporto fra imprese e INRiM, ma anche fra più imprese fra di loro. Un esempio di tale attività è il CMM Club Italia, che opera da 23 anni sotto l'egida dell'INRiM e raccoglie adesioni e fiducia di circa 65 società nel settore specifico della metrologia dimensionale e a coordinate in particolare.

L'INRiM, per il suo ruolo di punto di riferimento nazionale, può ambire ad organizzare una *Scuola di Metrologia* per le imprese. Questa si differenzia dall'insegnamento universitario perché rivolta a persone già impiegate che intendano approfondire in ambito lavorativo. Tale scuola si comporrebbe di moduli, alcuni d'interesse trasversale (ad esempio la gestione della strumentazione in qualità, o l'incertezza) ed altri settoriali (ad esempio le misure di pressione o di temperatura). Tale iniziativa era attuata anni fa dall'INRiM per tramite di un soggetto esterno di formazione tecnica che ne gestiva gli aspetti amministrativi e gestionali; ora l'INRiM è in grado di gestire l'iniziativa direttamente.

5. Normazione tecnica.

Vi è un crescente riconoscimento dell'importanza della normazione tecnica. Ad esempio, i progetti a finanziamento europeo sempre più chiedono azioni esplicite per trasferire i risultati prodotti ai tavoli normativi, come punto di partenza qualificato per nuovi metodi, procedure e prodotti normalizzati.

Dal punto di vista dell'INRiM, l'attività di normazione tecnica è ritenuta fra quelle di trasferimento tecnologico e della conoscenza più efficienti. Infatti, altre azioni possono risultare anche più efficaci nel risolvere specifici

problemi individuati dallo specifico committente o collaboratore, ma sono limitate per bacino d'impatto a questo solo o a pochi. Viceversa, la normazione tecnica si rivolge ad una pluralità vastissima di soggetti: buona metrologia riversata in buone norme tecniche è di beneficio amplissimo, ben più di quanto qualunque altro intervento specializzato potrebbe ottenere, sebbene sia difficile quantificarlo ed individuare singoli soggetti beneficiati.

Per contro l'attività normativa è assai avara di riconoscimenti formali. I progetti normativi hanno una durata media dell'ordine del lustro, costano moltissimo tempo e denaro per partecipare, richiedono capacità di mediazione e di ricerca dell'accordo possibile nonché prestigio personale riconosciuto, e infine non regalano nemmeno la soddisfazione di veder menzionato il proprio nome nel sudato documento pubblicato. Nella carriera del personale INRiM è difficile far valere titoli maturati in ambito della normazione tecnica, e questo scoraggia e distoglie. Sono necessarie azioni di riconoscimento dei risultati ottenuti in quest'ambito.

14.1.2 - PRIORITÀ E SVILUPPO TEMPORALE

Le forze a disposizione dello UTT sono tali da non consentire di aggredire contemporaneamente tutti gli ambiti descritti più sopra. Si rende quindi necessario un criterio di priorità che orienti la programmazione temporale delle attività.

Vengono individuate le seguenti priorità:

1. Tutela del diritto di proprietà intellettuale
2. Collaborazione di ricerca con le imprese
3. Creazione di spin-off
4. Normazione tecnica
4. Trasferimento strutturato della conoscenza alle imprese

Ne risulta il seguente sviluppo temporale delle attività:

2021: Assunzione TD di un Technology transfer manager.

1. Tutela del diritto di proprietà intellettuale
 - Attuazione del regolamento INRiM per il deposito e la gestione dei brevetti.
 - Strutturazione di un archivio del portafoglio degli IPR dell'INRiM, comprendente anche gli aspetti di contabilità dei costi e ricavi, eventualmente appoggiato ad archivi esistenti.
 - Definizione di carte di valutazione delle privative in portafoglio e di quelle candidate ad entrarvi, allo scopo di decidere se brevettare e/o mantenere i brevetti.
 - Edizione di un vademecum a disposizione dei colleghi INRiM che riporti in modo sintetico ma esaustivo le informazioni necessarie a chi si accinga a brevettare.
 - Formazione introduttiva ai colleghi INRiM sugli IPR e loro protezione; in particolare, rapporto fra pubblicazioni scientifiche e strumenti di privativa.
 - *Scouting* fra i colleghi dell'INRiM alla ricerca di ricerche potenzialmente brevettabili.
2. Collaborazione di ricerca con le imprese
 - Attività di *scouting* verso imprese di grandi dimensioni per esplorare possibili terreni di collaborazione.
 - Sostegno a sportello nella definizione degli accordi e nella stesura dei contratti di collaborazione.

3. Creazione di spin-off: nessuna attività.
4. Normazione tecnica: nessuna attività; prosecuzione delle attività individuali in atto.
4. Trasferimento strutturato della conoscenza alle imprese: nessuna attività; prosecuzione delle attività individuali in atto.

- 2022:
1. Tutela del diritto di proprietà intellettuale: Attività a regime di gestione e consulenza.
 2. Collaborazione di ricerca con le imprese: Attività a regime di gestione e consulenza.
 3. Creazione di spin-off:
 - Raccolta di documentazione regolamentare di istituzioni prossime all'INRiM, in analogia a quanto fatto per i brevetti.
 - Rapporti di collaborazione con incubatori d'impresa presenti sul territorio, ad esempio I3P del Politecnico di Torino.
 - Bozza di regolamento INRiM sugli spin-off, da sottoporre agli organi competenti per approvazione.
 - Edizione di un vademecum a disposizione dei colleghi INRiM che riporti in modo sintetico ma esaustivo le informazioni necessarie a chi si accinga ad intraprendere uno spin-off.
 - Formazione introduttiva ai colleghi INRiM sugli spin-off.
 - Attività di sportello per il personale dell'INRiM, per aiutare e accompagnare l'eventuale nascita di spin-off.
 4. Normazione tecnica:
 - Promozione dell'importanza della normazione tecnica mediante specifici eventi.
 4. Trasferimento strutturato della conoscenza alle imprese:
 - Individuazione di colleghi INRiM idonei e disponibili a dar vita a reti tematiche di trasferimento culturale.
 - Progetto di una *Scuola di metrologia* e individuazione di programmi e docenti.

- 2023:
1. Tutela del diritto di proprietà intellettuale: Attività a regime di gestione e consulenza.
 2. Collaborazione di ricerca con le imprese: Attività a regime di gestione e consulenza.
 3. Creazione di spin-off: Attività a regime di gestione e consulenza.
 4. Normazione tecnica:
 - Ricerca di fondi centrali a sostegno delle attività di normazione nazionali ed internazionali.
 4. Trasferimento strutturato della conoscenza alle imprese:
 - Avvio di reti tematiche di trasferimento culturale.
 - Attuazione della *Scuola di metrologia*.

14.2 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: ATTIVITA' DI SUPPORTO AD ACCREDIA

L'attività di Terza Missione dell'INRiM comprende anche le attività di supporto ad ACCREDIA - Ente Italiano di Accreditamento, che vengono effettuate nell'ambito della convenzione stipulata fra INRiM ed ACCREDIA, rinnovabile ogni tre anni. Tale supporto avviene attraverso la messa a disposizione di ispettori/esperti per le pratiche di accreditamento, nonché tramite un'adeguata copertura metrologica delle attività di accreditamento. Le attività per ACCREDIA vengono eseguite dal personale dell'INRiM presente negli Elenchi degli Ispettori/Esperti Tecnici ACCREDIA, su incarico dei dipartimenti di taratura ACCREDIA DT e dei laboratori di prova ACCREDIA-DL.

Le attività dell'INRiM oggetto della convenzione INRiM-ACCREDIA comprendono:

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

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

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

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

Le attività principali eseguite dal personale dell'INRiM consistono in:

- partecipazione ai gruppi di lavoro;
- preparazione e docenza a corsi di formazione;
- preparazione di documenti tecnici e linee guida;
- collaborazione per l'organizzazione di riunioni e convegni.

INRiM e ACCREDIA condividono il comune interesse istituzionale all'assicurazione della riferibilità. A questo fine, essendo scaduta la convenzione stipulata nel 2017 finalizzata a regolamentare le attività svolte da INRiM a favore di ACCREDIA e le corrispondenti obbligazioni a carico delle parti, vi è l'interesse comune al proseguimento della collaborazione tecnico-scientifica, nel rispetto delle reciproche competenze. Durante questi anni di collaborazione, si è preso atto in particolare dell'esigenza di articolare chiaramente i rispettivi ruoli nell'ambito del sistema metrologico nazionale, individuando le forme di collaborazione più efficaci. A questo proposito il CdA dell'INRiM ha dato mandato al Direttore Generale e al Direttore Scientifico, con deliberazione n. 39/2020/6, di procedere a negoziare con ACCREDIA il nuovo testo della convenzione, ispirato ai principi di semplificazione e di chiara distinzione tra le attività connesse all'accREDITamento, in regime di libero mercato, e le attività di supporto tecnico-scientifico, di natura istituzionale.

La nuova convenzione, in corso di predisposizione, verrà stipulata nel corso del 2021.

Le attività INRiM svolte nel quadro della convenzione INRiM ACCREDIA nel periodo 2017-2019 sono riportate nella seguente tabella in termini di giorni uomo, fatturato, e numero degli ispettori coinvolti:

Ann o	ACCREDI A	Attività di valutazion e in G/U	Importo In Euro	Attività di supporto scientific o in G/U	Importo in Euro	Importo fatturato DT e DL in Euro	Totale fatturato anno in Euro	Numero Ispettori coinvolt i
2017	DT	155	66.753,0 0	9,5	5.637,5 0	78.891,8 4	86.388,81	21
	DL	14	6.090,00	-	-	7.491,97		2
2018	DT	154,5	67.207,5	3,5	2.275,0 0	76.292,4 3	102.516,7 7	22
	DL	51	22.185,0 0	-	-	26.224,3 4		2
2019	DT	142,5	61.987,5	10,5	6.825,0 0	74.132,0 9	96.677,43	18
	DL	39	16.965,0 0	-	-	20.545,3 4		2

Sulla base della media calcolata per i tre anni per ogni indicatore (giorni uomo, fatturato annuo e numero degli ispettori coinvolti) si può arrivare ad una pianificazione delle attività INRiM per il triennio 2021-2023, da svolgere nel quadro della convenzione INRiM - ACCREDIA.

Anno	ACCREDIA	Attività di valutazione in G/U	Attività di supporto scientifico in G/U	Totale fatturato previsto all'anno in Euro	Numero Ispettori coinvolti
2021	DT	151	8	95.195,33	20
	DL	35	-		2
2022	DT	151	8	95.195,33	20
	DL	35	-		2
2023	DT	151	8	95.195,33	20
	DL	35	-		2

I giorni uomo previsti annualmente per le attività di valutazione (esame documentale, valutazioni su campo e accertamenti sperimentali) saranno impiegati dagli Ispettori/Esperti dell'INRiM per lo svolgimento delle seguenti pratiche di accreditamento:

- n. 10 Nuovi accreditamenti
- n. 57 Estensioni e riduzioni dello scopo dell'accREDITamento
- n. 36 Rinnovi
- n. 40 Sorveglianze
- n. 13 Accertamenti sperimentali

Per svolgere tali pratiche l'INRiM ogni anno mette a disposizione di ACCREDIA DT e DL circa 25 dipendenti qualificati come Ispettori/Esperti:

- 16 Ispettori (1 Ispettore SGQ, 1 Ispettore SGQ + Tecnico, 14 Ispettori Tecnici)
- 9 Esperti Tecnici

Gli Ispettori /Esperti coprono le seguenti aree metrologiche rispettivamente per ACCREDIA DT e DL.

Aree metrologiche	Ispettori		Esperti		In formazione	
	CTER	Ric/Te c	CTER	Ric/Te c	CTER	Ric/Te c
Misure Acustiche	1	-	-	-	-	-
Misure di Lunghezza	-	2	-	4	-	-
Angolo Piano	-	1	-	1	-	-
Misure Elettriche in continua e bassa frequenza	2	-	2	-	-	-
SGQ	2	-	-	-	-	-
Misure di Temperatura		3	-	-	-	-
Potenza Termica	-	1	-	-	-	-
Misure di Massa	1	1	-	-	-	-
Controlli Metrologici	1	1	-	-	-	-
Volume	1	3	-	-	-	-
Misure di Accelerazione	1	-	-	-	-	-
Misure di Portata	2	-	-	-	-	-
Velocità Aria	-	2	-	-	-	-
Misure di Umidità Relativa, Temperatura di Rugiada	-	1	-	-	-	1
Quantità di Sostanza	-	1	-	-	-	-
Misure Ottiche	1	1	-	1	-	-
Misure Chimiche	-	-	-	1	-	-
Misure di forza, durezza, momento torcente	-	-	-	1	-	-
Misure di velocità	-	-	-	1	-	-
Misure di Campo Elettromagnetico	-	-	1	-	-	-
Misure di Potenza Termica	-	-	-	-	-	1

Elenco delle aree metrologiche in cui è impiegato il personale INRiM in ACCREDIA DT (N.B. un singolo individuo può coprire più grandezze).

Aree metrologiche	Ispettori		Esperti		In formazione	
	CTER	Ric/Te c	CTER	Ric/Te c	CTER	Ric/Te c
Prove elettriche ed elettroniche in bassa ed alta frequenza, misure di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza	-	1	-	-	-	-
Schema ISO/IEC 17043" Valutazione di PT Providers"	-	1	-	-	-	-

Elenco delle aree metrologiche in cui è impiegato il personale INRiM in ACCREDIA DL.

14.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA

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

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

14.4 - ATTIVITÀ DI COINVOLGIMENTO CULTURALE E SOCIALE: IL PUBLIC ENGAGEMENT E LA COMUNICAZIONE

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

In quest'ottica, l'INRiM si propone di raggiungere, nel triennio 2021-2023, i seguenti obiettivi:

- **Tirocini curriculari per laurea triennale:** a) evento annuale TIME FOR JOB - Presentazione presso il Politecnico di Torino di proposte di tirocini e tesi magistrali; b) presentazione di un analogo programma per gli studenti di Scienze della Natura dell'Università di Torino, con particolare attenzione al Dipartimento di Fisica. I tirocinanti vengono seguiti sia nella fase di scelta del tirocinio sia nelle successive pratiche interne con i rispettivi Atenei. Nel 2021, perdurando l'emergenza sanitaria determinata dalla pandemia da Covid-19, le attività di tirocinanti e tesisti, così come altre attività ordinariamente svolte in presenza, verranno condotte da remoto o in modalità mista, seguendo le apposite procedure studiate per ottemperare alle disposizioni previste dalla legge in materia di prevenzione e sicurezza sul luogo di lavoro in un periodo di emergenza sanitaria globale.
- **Tirocini extracurriculari per neodiplomati e neolaureati:** per specifiche esigenze da parte dei ricercatori e dell'Amministrazione, l'Istituto può essere soggetto ospitante di tirocinanti.
- **Organizzazione e tutoraggio di stage per studenti delle scuole superiori** nell'ambito dei Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (PCTO, L.107/2015). Si auspica di poter riprendere i percorsi quando la pandemia sarà sotto controllo.
- **“Progetto Scuole”** Su iniziativa del Presidente e della Consulta dei Presidenti degli Enti di Ricerca (CONPER) il gruppo di lavoro denominato “Progetto Scuole” prosegue con il compito di elaborare e realizzare un programma di interventi nelle scuole secondarie di secondo grado per la diffusione della cultura metrologica. Alla base del progetto c'è l'intenzione di coinvolgere un elevato numero di studenti, con i loro insegnanti, su tutto il territorio nazionale, approfondendo le tematiche legate al nuovo Sistema Internazionale (SI). Sono previsti seminari a distanza, che potranno convergere verso la Giornata Mondiale della Metrologia (WMD) del 20 maggio. Per quanto riguarda gli stakeholders, si farà riferimento ad associazioni di insegnanti, al Centro Ricerche Enrico Fermi, all'USR e a tutti quei soggetti con i quali l'INRiM ha già lavorato in passato nelle e con le scuole. Si sottolinea l'intenzione di dare al progetto una diffusione nazionale, ampliando i contatti già esistenti con professori e scuole al fine di estendere la conoscenza dell'istituto e delle sue potenzialità.
- **Iniziative di orientamento e interazione con le scuole di ogni ordine e grado e con la cittadinanza.** Nel 2020, a causa delle restrizioni dovute alla pandemia da Covid-19, che hanno imposto l'attivazione dello smart working per il personale INRiM e della Didattica a Distanza per le scuole di ogni ordine e grado nella prima fase di lockdown, le iniziative in presenza previste -

Bambini e bambine: un giorno all'università" (ITER-Comune To e Agorà scienza), "Le sfide della metrologia e l'evoluzione tecnologica" (Settimana della Scienza a cura di CentroScienza), le visite su richiesta di scuole, privati e associazioni, "Mirafiori Batti il 5!" (in collaborazione con Fondazione Mirafiori), "La scienza della misura nell'insegnamento scientifico" (corsi per insegnanti e studenti in collaborazione con MIUR e CESEDI Città Metropolitana) - sono state sospese e rinviate a data da destinarsi. Si prevede che tutte le iniziative saranno riavviate appena possibile e saranno soggette in parte a processi di modifica, che terranno conto di quanto avvenuto nei mesi della pandemia (digitalizzazione, implementazioni alternative della didattica che consentono di raggiungere studenti su tutto il territorio nazionale).

- **Pubblicazione di materiale didattico** e/o informativo sulla piattaforma creata dall'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (INDIRE), su proposta della Consulta dei Presidenti degli Enti di Ricerca (CONPER) per sostenere la Didattica a Distanza nel corso del 2020. Nel 2020 l'INRiM ha partecipato all'iniziativa mettendo a disposizione una serie di video già in suo possesso. Per il triennio successivo si propone la realizzazione di ulteriore materiale multimediale studiato appositamente per le scuole.
-
- **Seminari di aggiornamento ed eventi per docenti**, anche su richiesta: l'Associazione Insegnanti di Fisica - sezione Storia della fisica - aveva organizzato nel 2020 una giornata presso l'INRiM che prevedeva quattro seminari tenuti da ricercatori INRiM e la visita ad alcuni laboratori, nell'ambito di una Scuola sulle misure e sul nuovo Sistema Internazionale (SI). L'attività viene riproposta nel 2021 con modalità a distanza: la visita sarà virtuale, con un video realizzato ad hoc.
 - **Adesione alle campagne di divulgazione scientifica** promosse e coordinate dagli organismi metrologici internazionali, in occasione di eventi come il World Metrology Day, il World Health Day e il World Environment Day, e **attività di divulgazione scientifica per i progetti di ricerca europei** attraverso testi divulgativi, sito web, canali social, produzione di video e materiale grafico, contatti con gli stakeholder.
-
- **Adesione alle "Settimane della Scienza"**, iniziativa promossa dall'associazione CentroScienza Onlus, che, nei mesi di maggio e giugno, prevede l'organizzazione di conferenze o altri incontri a carattere divulgativo e l'apertura dei laboratori INRiM alle visite di studenti e privati cittadini.
 - **Adesione alla Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori**, evento di divulgazione scientifica che ogni anno si svolge in centinaia di città europee e che, a partire dal 2021, la Commissione Europea sosterrà attraverso il programma Horizon Europe (2021-2027).
 - Considerata la partecipazione dell'INRiM alla Biennale Tecnologia 2020, si propone di rinnovare l'adesione a questa manifestazione organizzata dal Politecnico di Torino. Si propongono inoltre la **partecipazione dell'Istituto ad altri eventi di divulgazione scientifica** - come il Festival della Scienza di Genova - e l'**organizzazione di conferenze tenute da ricercatori INRiM presso musei e altri luoghi di cultura sul territorio italiano** - ad esempio presso il Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano
 - **Predisposizione di testi e materiale illustrativo sulle attività dell'INRiM** per varie esigenze di informazione e divulgazione e per l'aggiornamento del sito web istituzionale. Produzione di video di vari livelli di approfondimento da divulgativo a specialistico: visite virtuali ai laboratori, brevi

conferenze, riprese di esperimenti con opportune illustrazioni, cartoni animati e/o video animazioni (per il pubblico meno esperto o per i più giovani).

- **Ideazione di un laboratorio didattico multidisciplinare**, in cui sia possibile non solo accogliere gli studenti delle scuole in visita ai laboratori INRiM, ma anche svolgere attività didattiche di livello universitario. Il laboratorio dovrebbe essere dotato di attrezzature per esperimenti e di impianto audio video in modo da poter ospitare eventuali conferenze destinate a un pubblico ristretto. Lo spazio potrebbe essere utilizzato anche come studio di registrazione per eventuali riprese video. Le attività nel laboratorio didattico potrebbero coinvolgere a rotazione numerosi ricercatori delle Divisioni. Un allestimento fisso di semplici esperimenti, che ospiterà studenti provenienti dalle scuole di tutto il Paese e studenti universitari, potrebbe costituire una valida alternativa e un complemento alle visite ai laboratori dell'Istituto, che spesso sono di ostacolo alle normali attività di ricerca e servizio.
- **Organizzazione di conferenze** da tenersi presso la sede storica dell'INRiM in corso Massimo d'Azeglio 42, ubicata in una zona della città più facile da raggiungere da parte del pubblico rispetto alla sede di Strada delle Cacce 91. Si propongono due conferenze di ricercatori INRiM – una a carattere divulgativo l'altra di livello più approfondito – e un intervento da parte di un relatore esterno le cui attività abbiano un qualche legame con quelle dell'Istituto. Il relatore esterno potrebbe essere una personalità nota al grande pubblico e non appartenere necessariamente al mondo scientifico, nell'intento di contribuire a promuovere una maggiore integrazione tra i diversi rami del sapere.
- **Realizzazione di una newsletter dell'Istituto** sui temi di ricerca delle Divisioni, da inviare all'esterno (ad esempio, sul modello di quella della Società Italiana di Fisica) e di un **magazine on-line** con articoli pensati per varie tipologie di pubblico, dai meno esperti di scienza agli studenti e ai docenti di materie scientifiche, agli appassionati, ai semplici curiosi. Si propone di limitare inizialmente l'uscita del magazine a due o tre numeri l'anno.

Allo scopo di garantire un'informazione trasparente, esauriente e oggettiva, promuovendo nuove relazioni con i cittadini e gli utenti, l'INRiM si propone, in sintonia con le richieste della Direzione Scientifica, di sviluppare i seguenti progetti:

- **Produzione di video di comunicazione scientifica specialistica**, da caricare su playlist dedicata dei canali social di INRiM, allo scopo di rilanciare l'immagine scientifica dell'Ente e dare risalto ai prodotti scientifici dell'ente pubblicati sulle riviste a maggiore impatto. L'obiettivo è duplice:
 - (a) migliorare l'attrattività dell'Ente (per dottorandi, per candidati ai concorsi, etc),
 - (b) stimolare i ricercatori dell'Istituto affinché puntino a sottoporre i loro lavori sulle riviste più prestigiose.
- **Aggiornamento del sito web dell'INRiM;**

Proseguiranno nel triennio anche le consuete attività legate alla Comunicazione, che saranno trasformate in obiettivi strategici specifici nel Piano della Comunicazione 2021-2023:

- Programmare e coordinare le attività di comunicazione
- Sviluppare e presidiare l'immagine coordinata
- Pianificare e gestire la comunicazione social
- Supportare le attività di comunicazione interna
- Supportare la progettazione e la realizzazione di progetti e di materiale di comunicazione
- Gestire i rapporti con i media

14.5 - L' ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE

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

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

Alta formazione

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

Nel corso del 2019, 34 tra ricercatori e tecnologi dell'Istituto si sono dedicati ad attività di docenza all'interno di corsi di laurea, master e dottorati di ricerca.

Un ulteriore prestigioso punto di contatto con il mondo universitario è rappresentato dal Corso di Dottorato in Metrologia (<https://www.inrim.it/formazione/dottorato-metrologia>), attivato attraverso una convenzione stipulata tra l'INRiM e il Politecnico di Torino, enti che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico. Studenti di dottorato svolgono la loro attività di ricerca presso i laboratori dell'INRiM, seguiti da tutor interni e/o accademici. Inoltre, ricercatori e tecnologi INRiM svolgono con regolarità corsi di dottorato su tematiche di metrologia. È prevista l'attivazione di uno sportello INRiM per il dottorato, in collaborazione con le analoghe realtà del Politecnico e dell'Università, che possa fare da punto di riferimento per i dottorandi. Sono inoltre state avviate azioni conoscitive su iniziative relative al dottorato di ricerca da parte di altri NMI in ambito Euramet, da portare avanti nel triennio 2021-2023.

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

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate all'Alta Formazione per l'anno 2019.

Collaborazione ad attività formative istituzionali svolte dalle università

Numero totale di corsi di didattica universitaria (corsi di laurea, master e dottorati di ricerca) erogati	34
Numero totale di ore di didattica universitaria complessivamente erogate	750
Numero di ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti	34
Numero totale di corsi di dottorato in convenzione	1
Numero totale di studenti di dottorato attivi nell'anno	43
Numero di tirocini curriculari (I e II livello)	73

Formazione continua o permanente

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

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

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

Nel corso del 2019 sono stati attivati corsi per il personale dei seguenti organismi:

- ANGQ (Roma)
- ACCREDIA
- TÜV Italia Akademik
- Enel Energia
- SPAIS-Scuola Permanente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze Sperimentali

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate alla Formazione Continua per l'anno 2019.

Formazione continua o permanente

Numero totale di corsi erogati	8
Numero totale di ore di didattica assistita complessivamente erogate	100
Numero di ricercatori e tecnologi coinvolti complessivamente	15
Numero di organizzazioni esterne coinvolte come utilizzatrici dei programmi	5
di cui imprese	1
di cui istituzioni no profit	2
di cui associazioni	1
di cui scuole	1

PARTE III: SCHEDE DI DETTAGLIO

Divisione “Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)”			
Data Inizio:	01-01-2021	Data Fine:	31-12-2023

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

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

a.	Finalità e Obiettivi
-----------	-----------------------------

La Divisione è strutturata nei seguenti cinque settori scientifici:

Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

L'attività di ricerca di questo settore è principalmente incentrata sulla progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di materiali avanzati e dispositivi quantistici, per studi fondamentali, le scienze applicate e la metrologia. In particolare, il settore Scienza e Tecnologia alla nanoscala svolge ricerche su tecniche di litografia ottica, nanolitografia a fasci elettronici e ionici, in combinazione con il *self-assembly* di singoli nano-oggetti e copolimeri a blocchi per la fabbricazione di strutture di riferimento in vari campi della metrologia, dei dispositivi quantistici, sensori e per strutture e dispositivi fotonici.

Campi e Sistemi Elettromagnetici

Il Settore opera nell'ambito dello studio, dello sviluppo e della caratterizzazione di tecnologie elettromagnetiche ed elettriche, contribuendo all'avanzamento delle conoscenze e alla sicurezza nel loro utilizzo in ambiti definiti di applicazione. In accordo con il documento di Vision dell'INRiM, le aree specifiche di riferimento sono: i) le applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici e la dosimetria elettromagnetica per la diagnostica clinica e la terapia, in relazione al Focal Point *Supporting the quality of life and health*; ii) le misure di grandezze elettriche, magnetiche ed elettromagnetiche per il trasporto elettrico, la trasmissione, distribuzione e conversione dell'energia nelle Smart Grids ed i dispositivi elettromagnetici, in relazione al Focal Point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*. All'attività di ricerca si affianca quella di ruolo NMI e trasferimento della conoscenza per le grandezze e le aree specifiche di competenza.

Acustica e Ultrasuoni

Le attività del settore si sviluppano all'interno delle due linee: riferimenti e tecniche di misura in acustica; tecniche di misura e applicazioni ambito ultrasonoro. Viene anche svolta attività di certificazione, riguardante la taratura di microfoni, calibratori e fonometri; la caratterizzazione di sorgenti sonore e trasduttori ad ultrasuoni utilizzati in campo medico. I laboratori forniscono un importante supporto a centri di eccellenza, sia nazionali che internazionali, riguardo lo sviluppo di tecniche terapeutiche (oncologiche e patologie neurodegenerative) che prevedano l'utilizzo di ultrasuoni. In ambito normativo, si segnala, la costante presenza nell'ambito del comitato CCAUV del CIPM, e in seno a TCAUV di EURAMET, IEC e CEI.

Scienze e Tecnologie Biomediche

L'attività del settore, fortemente interdisciplinare, è mirata allo sviluppo di tecniche di misura e di *imaging*, metodi di analisi sperimentale e modellistica, e nuove tecnologie, per applicazioni in ambito biomedicale. In relazione al documento di Vision dell'INRiM, le aree specifiche di riferimento sono principalmente riconducibili ai Focal Point *“Supporting the quality of life and health”* e *“Improving the quality and impact of fundamental scientific research”*. Particolare attenzione è rivolta allo studio di nanomateriali multifunzionali per applicazioni terapeutiche e diagnostiche, quali l'ipertermia, il trasporto controllato di farmaci e il *bioimaging*, materiali simulatori tissutali per la realizzazione di *phantom*, e biomateriali per la medicina rigenerativa e l'ingegneria dei tessuti. Si sviluppano inoltre tecniche di misura, a livello molecolare, cellulare e tissutale, per la quantificazione di biomarcatori di stati patologici e l'analisi dei processi biologici. Nei vari ambiti di indagine vengono realizzati in modo sinergico metodi di caratterizzazione *in vitro*, *in phantom* ed *in silico*, con l'obiettivo di arrivare ad esperimenti che simulino le applicazioni *in vivo* e supportino la medicina di precisione.

Magnetismo, Materiali e Spintronica

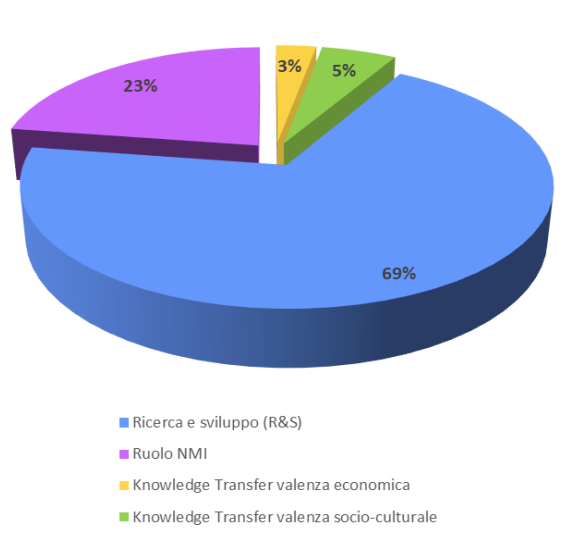
L'attività di ricerca e sviluppo del settore è incentrata intorno ai cinque obiettivi prioritari nell'ambito del magnetismo e della spintronica: i) Preparazione di materiali magnetici su varie scale spaziali dal bulk fino alla dimensione nanometrica; ii) Progettazione, geometrizzazione e sviluppo di dispositivi magnetici

innovativi, su scale micro e nanometriche; iii) Miglioramento delle capacità di misura di campi magnetici e della caratterizzazione di materiali magnetici, nanometrici e bulk, in un ampio spettro di condizioni; iv) Sviluppo delle opportune analisi teoriche e dei modelli numerici applicati al magnetismo su diverse scale spaziali; v) Estensione delle capacità di misura a nuove aree collegate a energia, salute, ambiente e beni culturali.

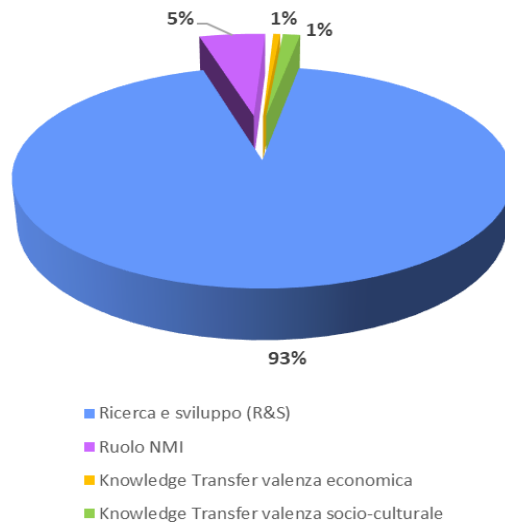
Distribuzione dei mesi-persona 2020 nei Settori della Divisione “Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)”.

Risorse umane	Mesi/persona (m/p)	m/p in %
Scienza e tecnologia alla nanoscala (ML01)	173,5	23
Campi e sistemi elettromagnetici (ML02)	155,5	21
Acustica e ultrasuoni (ML03)	24	3
Scienze e tecnologie biomediche (ML04)	170	23
Magnetismo, materiali e spintronica (ML05)	223,5	30
Totale	746,5	100

I due grafici successivi riportano l'impegno del personale nella Divisione per tipologia di attività, distinguendo tra personale strutturato (TI e TD) e non strutturato (assegnisti, personale in formazione e associati).



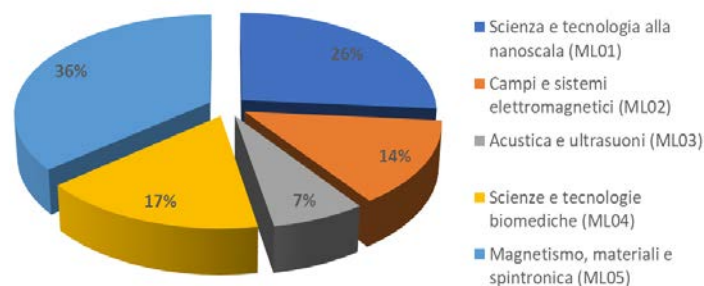
Distribuzione percentuale dei mesi-persona (strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.



Distribuzione percentuale dei mesi-persona (non strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.

Pubblicazioni su rivista indicizzata 2020

I ricercatori della Divisione ML sono tradizionalmente fortemente impegnati nell'attività di ricerca e nella sua pubblicazione su rivista. Il grafico a torta seguente illustra come questa attività sia effettivamente svolta dai diversi settori scientifici. In particolare, la percentuale del numero di pubblicazioni su rivista nel 2020 è ripartita tra i diversi settori scientifici della Divisione ML. Nonostante più della metà del numero totale di pubblicazioni sia collegato ai settori scientifici legati ai materiali avanzati (ML1 e ML5), la ripartizione riferita al numero di mesi/persona risulta essere abbastanza omogenea. A questo proposito, è infatti necessario considerare come non tutti i settori siano ugualmente attivi sulle tre missioni di INRiM.



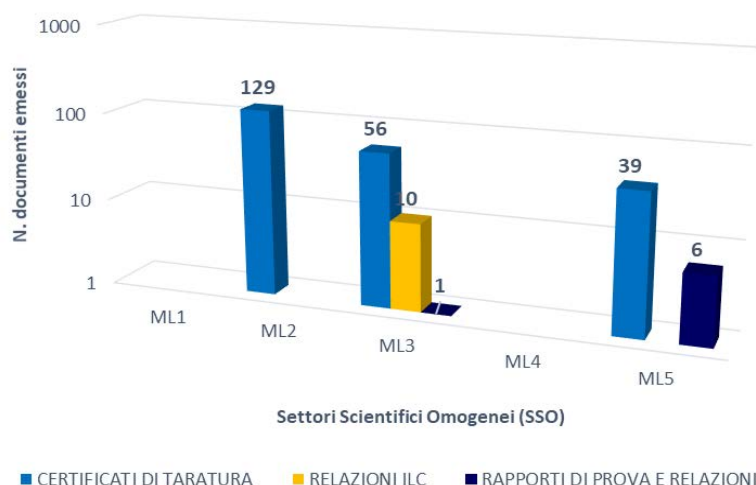
Servizi conto terzi 2020

La Divisione ML fornisce servizi di taratura sia verso l'esterno, sia verso i laboratori dell'INRiM. Analogamente a quanto osservato nel 2019, l'attività di certificazione e di ILC è eseguita solo da 3 settori scientifici. Come si evince dal grafico sottostante in cui l'attività è ripartita tra i settori, nell'anno 2020 la Divisione ha emesso circa 220 certificati di taratura e 10 relazioni di ILC (dati a novembre 2020).

L'attività di certificazione è stata effettuata esclusivamente da tre settori e in particolare circa l'80% dei certificati è ad opera dei settori ML2 (Campi e sistemi elettromagnetici) e ML3 (Suoni ed Ultrasuoni). Analogamente al 2019, anno in cui la Divisione ML è stata formata, il settore Acustica ed Ultrasuoni ha

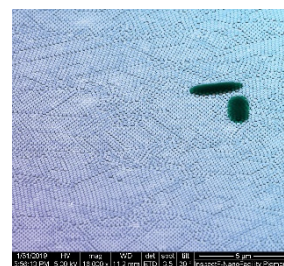
effettuato tutti gli ILC della Divisione. I due settori inattivi sono ML1 (Scienza e Tecnologia alla Nanoscala) e ML4 (Scienza e Tecnologie Biomediche). Entrambi operano in un contesto di ricerca avanzata e in continua evoluzione, quali i materiali alla nanoscale e il biomedicale, non maturi per l'attività di certificazione.

Nonostante il contesto pandemico, il numero di certificati emessi non ha visto una contrattura significativa rispetto al 2019.



b. Contenuto Tecnico Scientifico

SCIENZA E TECNOLOGIA ALLA NANOSCALA (ML01)



Batteri di *Escherichia Coli* su un substrato di nanofili di silicio.

Attività Ricerca e sviluppo

Sistemi modello 3D per materiali di riferimento e standard

Obiettivi. Sviluppo di un prototipo di campione di lunghezza alla nanoscala e studio dell'utilizzo di copolimeri a blocchi infiltrati selettivamente con allumina per un campione per Fluorescenza a Raggi X a Riflessione Totale (TXRF).

Sviluppo previsto. Saranno realizzate nanostrutture e materiali di riferimento utili per lo sviluppo di tecniche e procedure di misurazione affidabili e riferibili (ad esempio analisi chimiche 3D, analisi a raggi X, metrologia dimensionale alla nanoscala, nanofotonica e biosensing) per la determinazione della composizione, della struttura e delle proprietà di una varietà di materiali su scala micro e nanometrica (ad es. substrati SERS, singoli nanofili, nanopunte per AFM o SNOM).

Risultati attesi. Le analisi superficiali delle nanostrutture e dei materiali di riferimento verranno effettuate presso il Sincrotrone di Bessy del PTB di Berlino (XRF e TXRF), presso il centro di spettrometria di massa NICE-MSI del NPL e presso il laboratorio di caratterizzazione APT dell'IMEC di Leuven. I risultati delle misure saranno inseriti nei deliverable dei progetti in corso e nei lavori in corso di pubblicazione.

Materiali funzionali e metamateriali

Obiettivi. Progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi fotonici ibridi basati su metamateriali (iperbolici e dielettrici) e materiali bidimensionali (es. transition metal dichalcogenides, Xenes e hexagonal boron nitride), e materiali auto-assemblanti. La realizzazione di tali dispositivi apre la strada a soluzioni

tecnologiche innovative a supporto dello sviluppo di circuiti nanofotonici con sorgenti di singoli fotoni ideali, capaci di superare i tipici vincoli imposti dal limite di diffrazione.

Sviluppo previsto. Verranno prodotti i primi campioni di metamateriali basati su copolimeri a blocchi lamellari e cilindrici e ne verranno caratterizzate le risposte ottiche in presenza di sorgenti di singolo fotone quali fluorofori, nano-diamanti e materiali 2D. Verrà studiata la dipendenza della densità locale di stati fotonici in risposta a diversi tipi di disordine in strutture fotoniche aperiodiche (ad es., con disordine deterministico, stocastico, frattale, iperuniforme, quasicristallino, ecc.). Sarà ottimizzato il flusso tecnologico relativo all'accoppiamento di strutture fotoattive e plasmoniche per nanobiotecnologie e tecnologie quantistiche. Tale processo prevede la combinazione di tecniche di litografia classica (es. litografia ottica, EBL e laserwriter) con tecniche di fabbricazione di materiali auto-assemblanti (es. copolimeri a blocchi e nanosfere colloidali). A tal fine verranno studiati metodi di infiltrazione selettiva di ossidi metallici mediante Atomic Layer Deposition e di metalli (elettrodeposizione e metal loading) all'interno delle strutture nanometriche auto-assemblate. Verranno realizzati una serie di set-up di caratterizzazione delle proprietà ottiche ed elettriche dei materiali e dei dispositivi realizzati.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti di ricerca.

Materiali per la sensoristica

Obiettivi. Progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi per la sensoristica basati su materiali nanostrutturati con proprietà plasmoniche tunabili.

Sviluppo previsto. Verranno effettuate delle simulazioni sul campo elettromagnetico in prossimità delle nanostrutture plasmoniche al variare delle condizioni dielettriche e delle dimensioni e geometrie delle nanostrutture. Verranno fabbricati dei substrati tramite litografia elettronica o litografia per self-assembly (nanosfere polimeriche e copolimeri a blocchi) e deposizione di metalli plasmonici (Au, Ag) con caratteristiche morfologiche dettate dai risultati delle simulazioni. Tali strutture fotoattive e plasmoniche (ad esempio dispositivi microfluidici, azo-polimeri, substrati SERS) verranno sviluppate per applicazioni di sensoristica in ambito ambientale, e per nanobiotecnologie e tecnologie quantistiche.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti industriali e di ricerca.

Analisi ottica di materiali porosi

Obiettivi. Sviluppo di tecniche di indagine sperimentale e numerica della risposta ottica (scattering, assorbimento) di mezzi porosi o eterogenei alla micro e alla nanoscala. Tali mezzi sono tecnologicamente rilevanti per applicazioni di gestione della radiazione ottica e termica (ad es. per applicazioni di raffreddamento passivo radiativo, con particolare attenzione alla riduzione dei consumi di energia primaria e lo sviluppo di "smart energy materials"), nel campo della spettroscopia di assorbimento per applicazioni di gas sensing (materiali ceramici porosi trovano impiego, ad es., nella realizzazione di sensori a diodo laser tunabile più compatti e alignment-free che possono essere impiegati sia per monitoraggio ambientale di gas atmosferici, sia in ambito industriale, promuovendo una transizione verso un monitoraggio in diretta dei processi che non richieda estrazione dei gas off-line), nonché per interesse fondamentale sulla densità di stati fotonici e delle proprietà polarimetriche dei campi elettromagnetici confinati all'interno di mezzi nano e micro-strutturati. In quest'ultimo caso, l'attenzione è rivolta ad aumentare la sensibilità di tecniche spettroscopiche e sviluppare modelli per la caratterizzazione ottica di materiali emergenti. (Obiettivi in linea con i Focal Point *Supporting the quality of life and health, Monitoring the environment and supporting the development of clean technologie, Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions, Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. Verranno effettuate misure di varia natura sui materiali fabbricati e analizzati in collaborazione con partner nazionali e internazionali (ad es. IIT-CLNS di Roma o ICCAS di Pechino). La natura innovativa delle tecniche di caratterizzazione ottica programmata permetterà, tra le altre cose, di verificare i limiti di validità dei modelli teorici attualmente disponibili per descrivere aspetti specifici dell'interazione radiazione-materia in questi materiali.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto.

Fotonica tunabile in polimero

Obiettivi. Design, fabbricazione e caratterizzazione di strutture fotoniche tunabili, quali cristalli fotonici 2D e 3D e micro componenti ottiche, in materiali polimerici responsivi. L'impiego di materiali intelligenti capaci di cambiare la propria geometria e le proprietà ottiche in risposta a uno stimolo esterno (variazione di illuminazione e temperatura, campi elettrici a bassa intensità) mira all'introduzione e alla realizzazione di dispositivi con proprietà ottiche autoregolanti con basso consumo di energia. Questa attività risponde alla necessità di ridurre i consumi di energia introducendo dispositivi ottici intelligenti la cui funzionalità non è regolata da computer ma dalle proprietà dei materiali e dalla loro nanostrutturazione. (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*)

Sviluppo previsto. Tramite l'impiego di tecniche litografiche quali il *laser writing* e l'*electron beam lithography*, verranno realizzate strutture fotoniche bidimensionali e tridimensionali. L'impiego di materiali elastici responsivi consentirà di controllare la geometria di tali strutture e la loro permittività dielettrica con uno stimolo luminoso, variazioni di temperatura o campi elettrici di bassa intensità. Al contempo, la modulazione della risposta spettrale di tali dispositivi sarà monitorata nel tempo per una caratterizzazione dinamica delle proprietà ottiche di questi sistemi. In particolare, si studierà e realizzerà uno schermo passivo (che sfrutti la riflessione della luce incidente e la risonanza di micro cavità senza l'impiego di sorgenti di luce) composto da micro pixels basati su micro cavità Fabry Perot e materiali deformabili. L'impiego di tale design consentirà di creare micro pixels con colore controllabile al variare di piccoli gradienti di temperatura o campi elettrici di bassa intensità.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto. Sviluppo e validazione di una nuova tecnologia per schermi passivi.

Materiali polimerici non lineari disordinati per crittografia classica

Obiettivi. Studio, realizzazione e caratterizzazione di sistemi disordinati polimerici non lineari quali i cristalli liquidi stabilizzati dispersi in polimero e drogati con colorante. Questi sistemi fotonici costituiranno le funzioni fisiche non clonabili (PUF) la cui sicurezza aumentata sarà dimostrata grazie alla definizione di una nuova metrica basata su concetti di teoria dell'informazione. Inoltre la non linearità della risposta della funzione crittografica preverrà ogni attacco di apprendimento automatico. Questa tematica di ricerca si propone di implementare nuove chiavi crittografiche fisiche per autenticazione e sicurezza informatica. (Obiettivi in linea con il Focal Point *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*).

Sviluppo previsto. La nanostrutturazione del sistema disordinato in gocce di cristallo liquido consentirà di realizzare una funzione fisica non clonabile. Una prima parte dello studio sarà volta allo studio della non linearità introdotta con cristalli liquidi drogati con colorante in termini di foto-responsività, stabilità e non linearità delle risposte. La caratterizzazione ottica del sistema prevede un'interrogazione del token tramite delle *challenges* (profili di intensità di luce laser modulati con uno *spatial light modulator*) a cui corrispondono delle *responses*, le risposte ottiche del sistema disordinato (*speckle patterns*). La sicurezza delle risposte non lineari sarà testata con attacchi di apprendimento automatico verificando l'inviolabilità di tali sistemi.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto. Sviluppo di una metrica per la definizione e certificazione di processi di comunicazione e autenticazione crittografica classica. Realizzazione di un primo dispositivo integrato basato su funzioni fisiche ottiche non clonabili non lineari e di un protocollo di autenticazione.

Sistemi e dispositivi superconduttivi

Obiettivi. Realizzazione di nanosensori e circuiti innovativi per l'elettronica quantistica e la fotonica (nanoSQUID, nanobolometri, nanoTES, rivelatori a singolo fotone con nanofilo in superconduttore - SNSPD, ecc.).

Sviluppo previsto. Verranno studiati e realizzati sistemi superconduttivi nanostrutturati mediante litografia a fascio elettronico per diverse applicazioni (ad esempio bit quantistico, quantum phase slip, confinamento fondamentale, ecc.). Verranno perseguiti gli approcci più innovativi nel campo del nanopatterning (litografia a fascio di elettroni e di ioni combinata con *self-assembly* su vasta area, ovvero "autoassemblaggio diretto") con lo studio e la fabbricazione di strutture e dispositivi superconduttori su scala nanometrica (da 80 a 10 nm).

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti internazionali.

Obiettivi. Caratterizzazione di proprietà superconduttive di dispositivi Quantum Point contact basati su NbOx. (Obiettivo in linea con il Focal Point *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*).

Sviluppo previsto. Nel triennio 2021-2023 verranno realizzati e caratterizzati dispositivi nanoionici basati su film sottili nanostrutturati di Nb/NbOx per la realizzazione di dispositivi "quantum point contact" con conduttanza quantizzata. Inizialmente, verrà realizzato uno studio di ottimizzazione della crescita del NbOx attraverso ossidazione anodica, investigando la relazione tra le proprietà chimico/strutturali del materiale e fenomeni di elettromigrazione alla base del fenomeno del quantum point contact. Le proprietà di conduzione elettronica/ionica di tali dispositivi saranno investigate, con particolare attenzione anche alle possibili applicazioni in ambito neuromorfico e di computing. Inoltre, le proprietà superconduttive di tali dispositivi in regime di conduttanza quantizzata saranno investigate. Futuri sviluppi prevederanno studi preliminari di influenza del campo magnetico in tali dispositivi, fenomeni di interferenza in regime superconduttivo e possibilità di utilizzo di tali dispositivi in ambito di computazione quantistica.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti internazionali.

Dispositivi memresistivi

Obiettivi. Realizzazione e caratterizzazione di dispositivi elettronici alla nanoscala per studio di proprietà di conduzione elettronica e ionica e per emulazione di funzionalità neuromorfiche. Realizzazione e caratterizzazione di nanoarchitetture basate su nanomateriali per l'implementazione di paradigmi di computazione neuroispirati. (Obiettivi in linea con i Focal Point *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions, Improving the quality and impact of fundamental scientific research, Monitoring the environment and support the development of clean technologies*).

Sviluppo previsto. Nel triennio 2021-2023 verranno realizzati e caratterizzati sistemi elettronici alla nanoscala quali nanofili per la realizzazione di dispositivi elettronici innovativi quali memresistori per l'emulazione di funzionalità sinaptiche. Tali dispositivi verranno utilizzati come sistema modello per lo studio della conduzione elettronica e ionica in dispositivi memresistivi.

Inoltre, tali nanostrutture verranno utilizzate come elementi fondamentali per la realizzazione di nanoarchitetture neuroispirate basate su reti di nanofili autoassemblate per l'implementazione di algoritmi di apprendimento e funzionalità neuromorfiche (ad es. Reservoir Computing). L'attività sperimentale sarà supportata da una attività di modellizzazione delle proprietà di memresistive e di conduzione di tali reti di nanofili per simulare ed ottimizzare l'implementazione dei paradigmi di computazione. Tali ricerche verranno condotte anche attraverso collaborazioni con altri istituti e università (Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Juelich Research centre). Sempre nell'ambito dei device memresistivi, verrà inoltre avviato uno studio preliminare per la realizzazione di un campione di resistenza quantistica basato sul "quantum point contact" e su elettromigrazione di nanostrutture metalliche. A tale scopo, fenomeni di conduzione quantizzata verranno investigati in singoli nanofili, reti di nanofili e device memresistivi basati su film sottili. In tal caso, l'attenzione è rivolta anche ad aumentare la sensibilità di tecniche di caratterizzazione e allo sviluppo di modelli per la caratterizzazione di materiali emergenti.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti internazionali.

Crescita di cristalli

Obiettivi. Materiali cristallini con nuove funzionalità. (Obiettivo in linea con il Focal Point *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. Verranno perfezionate crescite mediante Molecular Beam Epitaxy di cristalli di composti di Heusler del tipo xyz o x_2yz con x e y metalli di transizione e z atomo con ultimo orbitale parzialmente occupato p . Si tratta di materiali che mostrano in genere comportamento semiconduttivo con spin filtering, oppure semimetallico, in alcuni casi anche superconduttivo. Riteniamo che un approccio di crescita in un regime molecolare possa permettere la crescita ordinata, con l'ausilio di tecniche di monitoraggio in situ, quale la diffrazione elettronica e quasi-in situ, come AFM o MFM (possibile anche XPS) senza esposizione alla contaminazione ambientale. In maggior dettaglio, si procederà su due linee fondamentali, una teorica ed una sperimentale. Nel primo caso si intende individuare promettenti proprietà semiconduttive e magnetiche in terne di possibili elementi con adeguata stechiometria, nel secondo verrà messo in atto un adeguamento dell'apparato di crescita, con l'introduzione di nuove celle a effusione e la sostituzione dei cannoni elettronici. Si considererà anche la possibilità di rendere operativo il XPS presente, che permetterà di estrarre informazioni composizionali in situ. Un adeguato software in grado di calcolare i fattori di struttura del reticolo reciproco (ed eventuali regole di cancellazione) verrà messo a punto. L'obiettivo è di riuscire a produrre campioni cristallini con ridotta difettosità con conseguente comportamento ferromagnetico "dolce" ed elevati valori di magnetizzazione di saturazione. Entrambi questi obiettivi verranno perseguiti grazie alle riconosciute competenze di crescita e caratterizzazione presenti in ML01 e ML05, rispettivamente.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto e progetti internazionali.

Attività Ruolo NMI

Sviluppo previsto. Organizzazione del 47esimo *Steering Committee Meeting* VAMAS presso INRiM, maggio 2022, con annesso simposio scientifico dedicato allo sviluppo di materiali avanzati di riferimento

Risultati attesi. Raccolta *partnership*, organizzazione visite ai laboratori e sessione scientifica connessa.

Attività Knowledge Transfer

Formazione accademica, internazionale, tecnica con attivazione di attività di *tutoring* di studenti, tirocini curriculari per studenti universitari del terzo anno, tesi di Laurea Magistrale, tesi di Dottorato e di addestramento alla ricerca sui temi di ricerca del Settore.

Didattica Universitaria

Sviluppo previsto. È prevista la seguente didattica universitaria:

- Didattica presso il Politecnico di Torino per il corso di Fisica e Materiali per Tecnologie Avanzate (cod 02MOCOD - Titolare Prof. Fabrizio Giorgis) per un totale di 20 ore.
- Didattica presso il Politecnico di Torino per il corso di Fisica I (cod 17AXOLZ - Titolare Prof. Samuele Porro) per un totale di 18 ore.
- Didattica presso il D ISIT dell'Università del Piemonte Orientale (UPO) per il corso di Laboratorio Nanotecnologie (cod MF0427 - Titolari Proff. L. Boarino e C. Sasso) per un totale di 16 ore.
- Didattica presso il DISIT dell'Università del Piemonte Orientale (UPO) per il corso di Fisica dello stato Solido (cod MF0245 - Titolari, Prof. G. Amato, M. Fretto e C. Appino) per un totale di 72 ore.
- Didattica presso il Polo Scientifico dell'Università di Firenze per il corso di Elettronica Quantistica (cod. B013483 - Titolare Prof. S. Cavalieri) per un totale di 2 ore.

Risultati attesi. Le lezioni verranno svolte in gran parte in modalità remota.

Divulgazione on-line

Sviluppo previsto.

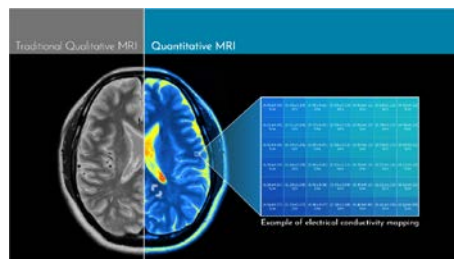
- Sviluppo e divulgazione di moduli e-learning relativi alla micro e nanofabbricazione.
- Partecipazione ad eventi di divulgazione delle attività di ricerca quali ad es. European Researchers' Night.

Organizzazione di eventi

Sviluppo previsto.

- Organizzazione della *2nd Winter School on Advanced Materials, Metrology and Standardisation*, febbraio 2022, Claviere (Italia).
- Co-organizzazione della conferenza *NanoInnovation 2021*, settembre 2021, Roma, Italia.

CAMPI E SISTEMI ELETTROMAGNETICI (ML02)



Esempio di misurazione indiretta della conducibilità elettrica di tessuti biologici, realizzata tramite algoritmi di Electric Properties Tomography (EPT).

Attività Ricerca e sviluppo

Tomografia MR quantitativa.

Obiettivo. Determinazione di metodi per l'*imaging* quantitativo basato su scansioni a risonanza magnetica, con particolare riferimento alle tecniche di tomografia delle proprietà elettriche (Electric Properties Tomography - EPT), capaci di fornire una misura indiretta dei parametri dielettrici dei tessuti soggetti a scansione. (Obiettivo in linea con il Focal point *Supporting the quality of life and health*).

Sviluppo previsto. Verranno implementati e caratterizzati, in termini di quantificazione dell'accuratezza e di valutazione di incertezza i metodi per EPT, a livelli crescenti di complessità e di realismo, partendo da input sintetici (su cui si può avere pieno controllo), passando per esperimenti di laboratorio effettuati su *phantom* simulatori tissutali ed arrivando infine all'impiego su dati collezionati in vivo, all'interno di tomografi clinici. In questo contesto, si prevede di dare ampio spazio all'uso dell'intelligenza artificiale come alternativa ai tradizionali algoritmi di EPT nell'identificazione delle proprietà dei tessuti scansionati.

Risultati attesi. Disponibilità di algoritmi per EPT validati e caratterizzati, condivisi con la comunità scientifica in forma *open source* tramite la libreria EPTlib (<https://eptlib.github.io/>).

Sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici

Obiettivo Quantificare, in termini dosimetrici, i possibili effetti biologici collaterali di tipo fisico di tecnologie biomediche basate sull'impiego di campi elettromagnetici. (Obiettivo in linea con il Focal point *Supporting the quality of life and health*).

Sviluppo previsto Impiego ed ampliamento degli strumenti sperimentali e modellistici sviluppati nel recente passato per valutazioni dosimetriche in ambito biomedico. Il principale contesto applicativo di interesse sarà quello della tomografia a risonanza magnetica, ma, più in generale, verranno analizzati anche altri scenari con caratteristiche analoghe (come, l'ipertermia indotta per via magnetica, con finalità terapeutiche). Ampio spazio sarà dato allo studio del rischio specifico in pazienti con dispositivi metallici impiantati. Oltre all'investigazione dei possibili effetti termici dovuti all'interazione tra i campi elettromagnetici e tali corpi estranei, la ricerca si snoderà su ulteriori aspetti che stanno assumendo una rilevanza crescente in ambito clinico, come la stimolazione nervosa periferica dovuta all'utilizzo di campi di gradiente sempre più intensi e con transizioni sempre più repentine e le sollecitazioni meccaniche causate dall'interazione tra campo di gradiente e campo statico.

Risultati attesi. Database di risultati dosimetrici (campo elettrico indotto, tasso d'assorbimento specifico, sovratemperatura) associati a svariati scenari d'esposizione in contesti biomedici, sulla base dei quali stabilire linee-guida (ed eventuali strategie di mitigazione) per l'utilizzo delle tecnologie diagnostiche o terapeutiche investigate.

Efficienza dei sistemi di trasporto elettrico

Obiettivi Definizione ed applicazione di metodi e sistemi di misura per l'analisi dell'interazione tra veicolo e stazione di ricarica di electric vehicle charging station (EVSE - electric vehicle supply equipment) e valutazione dell'efficienza del processo di ricarica. Stima dell'efficienza e ottimizzazione dei processi di scambio dell'energia tra sistema di alimentazione e veicolo ferroviario. (Obiettivi in linea con il Focal point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*).

Sviluppo previsto Lo studio relativo alla caratterizzazione metrologica del processo di ricarica elettrica prevede in prima battuta l'analisi del comportamento di ricarica degli autoveicoli elettrici in funzione di diverse condizioni elettriche e di stato di carica delle batterie, tenuto conto delle diverse potenze delle EVSE, e la definizione di dummy loads. Successivamente si caratterizzeranno in laboratorio in termini di perdite ed efficienza stazioni di ricarica AC, mediante utilizzo di *set-up* di misura dedicati, tenendo in conto i principali parametri di trasferimento di energia e di potenza di carica, come passo preliminare alle verifiche *on-site*.

Per quanto riguarda il miglioramento dell'efficienza dello scambio di energia tra materiale rotabile ferroviario e sistema di alimentazione, uno dei temi aperti è lo studio della qualità del contatto strisciante tra pantografo e catenaria. Al fine di monitorare in modo continuativo la qualità del contatto verrà sviluppato un sistema hardware di *detecting* degli effetti condotti dagli archi elettrici, implementabile nei sistemi di misura dell'energia per applicazioni a bordo treno. Verranno inoltre sviluppati un *setup* ed una procedura per la valutazione, in laboratorio e successivamente *on-site*, del sistema proposto.

Risultati attesi

- Definizione delle procedure e della strumentazione per le verifiche in laboratorio e *on-site* dell'efficienza di ricarica di EVSE.
- Messa a punto di un tool caratterizzato per l'identificazione e quantificazione dei distacchi linea-pantografo.

Sistemi magnetostrittivi per l'energy harvesting

Obiettivi. Determinazione del comportamento di harvester magnetostrittivi a forza diretta in presenza di vibrazioni generate da sistemi reali e loro accoppiamento con sensori bluetooth low energy (BLE). (Obiettivi in linea con il Focal point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*).

Sviluppo previsto. A partire dagli studi che hanno messo in rilievo le relazioni tra le proprietà dei materiali magnetoelastici, il bias magnetico, il bias meccanico e ampiezza e frequenza delle vibrazioni, lo studio proseguirà con l'analisi di funzionamento di harvester magnetostrittivi in presenza di vibrazioni reali, a spettro complesso e intermittenti. Si trarrà vantaggio dalla disponibilità di una macchina trazione-compressione-torsione per la generazione di vibrazioni con forma d'onda pressoché arbitraria nella gamma di frequenza fino a 100 Hz.

Risultati attesi. Analisi della capacità di un harvester magnetostrittivo di alimentare sensori autonomi in presenza di vibrazioni generate da sistemi reali, e non solo, in presenza di vibrazioni armoniche costanti, con particolare attenzione ai sensori.

Misure per i sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

Obiettivi. Sistemi e metodi per la caratterizzazione metrologica di sensori di tensione e corrente convenzionali e "low power" per misure di potenza ed energia in sottostazioni digitali e per il monitoraggio e controllo della qualità dell'energia trasmessa e distribuita. Definizione degli eventi di *power quality* in reti DC di distribuzione dell'energia elettrica. (Obiettivi in linea con il Focal point *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*).

Sviluppo previsto. Si completerà il sistema modulare per generazione e misura di tensioni sinusoidali e distorte, estendendone le capacità alla caratterizzazione di sensori con uscita digitale. I sistemi realizzati saranno applicati all'analisi e alla classificazione del comportamento dei sensori in situazioni reali e alla definizione delle loro prestazioni in termini di accuratezza e incertezza nella misura di fenomeni di *power quality*, riproducendo in laboratorio condizioni prossime a quelle reali. Si svilupperanno inoltre metodologie per l'analisi dei fenomeni di *power quality* in condizioni stazionarie e transitorie in reti DC di alimentazione. Sarà affrontato infine il tema della caratterizzazione delle apparecchiature di conversione A/D, utilizzate per l'adattamento e sincronizzazione di segnali analogici provenienti dai sensori di tensione e corrente attualmente installati sulle reti, con potenzialità di implementazione di metodi di correzione della risposta dei sensori stessi (sensori Smart).

Risultati attesi.

- Sistemi e procedure per la caratterizzazione in condizioni stazionarie e dinamiche di sensori di tensione con uscita analogica e digitale per misure su reti di distribuzione DC e AC.
- Algoritmi caratterizzati e validati in laboratorio in presenza di disturbi reali.
- Estensione del concetto di classe di prestazioni ai sensori di tensione e correnti inseriti in catene di misura di *power quality* in media tensione

Attività Ruolo NMI

Partecipazione a organismi metrologici e reti europee

Attività prevista. Per quanto riguarda le partnership in ambito EURAMET, continuerà la partecipazione ai lavori della EMN *Mathmet*, in relazione alle attività che la rete svolge nell'ambito degli esperimenti virtuali e dell'intelligenza artificiale, nonché allo svolgimento del JNP dedicato allo sviluppo della rete stessa. Proseguirà inoltre, per quanto riguarda le misure sui sistemi elettrici, il contributo allo sviluppo e all'implementazione della EMN *Smart Electricity Grids* e al JNP associato, in relazione alla definizione e all'implementazione della *Strategic Agenda* della EMN e delle attività propedeutiche all'implementazione del programma di knowledge transfer e formazione.

Risultati attesi.

- Mappatura degli stakeholder della EMN MATHMET, revisione del glossario e identificazione di procedure per il ciclo di vita del software e la gestione dei dati.
- Realizzazione di un database per le attività di knowledge transfer e di formazione della EMN SEG.
- Definizione dei contenuti di un corso di eccellenza sulle misure per le Smart Grids.

Partecipazione a organismi metrologici e tecnici

Sviluppo previsto. Proseguirà il contributo alle attività dei comitati EURAMET, con riferimento al TC IM (*Interdisciplinary Metrology*) e al SC *Power&Energy* del TC EM, così' come la partecipazione ai gruppi di lavoro in ambito MRI dello *Study Group ISMRM* (International Society of Magnetic Resonance in Medicine): *MRI safety*, *Electro-Magnetic Tissue Properties*, *Quantitative MR*. Si fornirà inoltre supporto attività dei Comitati tecnici internazionali e nazionali con riferimento all'esposizione umana ai campi elettromagnetici (CEI TC 106), alla caratterizzazione e modellizzazione di sensori di tensione e correnti e alla definizione delle incertezze di misura associate a set-up di misure innovativi (IEC TC38 WG47 e WG55; CIGRE' WG A3.45). Si contribuirà inoltre, nell'ambito del IEC TC 9, alla ridefinizione della norma IEC 62888, riguardante la misura di energia a bordo treno, e alla proposizione di un nuovo tema di ricerca, da sottoporre al comitato, sulla valutazione delle *performance* di sistemi di *feedback* dell'energia in sistemi di potenza per la trazione elettrica.

Risultati attesi.

- Comunicazione dei risultati ottenuti nell'ambito dei progetti di ricerca alle riunioni dei comitati tecnici e dei gruppi di lavoro e dei "mirror" nazionali di pertinenza.
- Presentazione dei risultati dei progetti alle Riunioni dell'IEC e del CENELEC TC 38 e ai *Workshop* annessi.
- Svolgimento del ruolo di "liason expert" della EMN SEG per il comitato IEC TC 38 *Instrument transformers*

Sviluppo e mantenimento di campioni e CMC

Sviluppo previsto. Grazie al laboratorio, il cui allestimento è in fase di completamento, dedicato alla generazione di campi magnetici di gradiente analoghi a quelli impiegati nella tomografia a risonanza magnetica, si prevede di avviare servizi di taratura e caratterizzazione di misuratori di gradiente di campo magnetico. In relazione ai sistemi di riferimento sviluppati nei progetti 16ENG04 MyRails e 17IND06 FutureGrid II, si svilupperanno procedure per la taratura della catena di misura di potenza ed energia per applicazioni ferroviarie DC, per la taratura di sensori di tensione/corrente con uscita digitale e di concentratori di segnali con ingresso/analogico e digitale. Si intende infine estendere sino a 200 kHz la caratterizzazione degli *shunt* di riferimento utilizzati per la misura della corrente che fluisce nel sistema a bobine di Helmholtz, valutando il i livelli di incertezza raggiungibili in termini di campo magnetico di riferimento generato.

Risultati attesi.

- Definizione di CMC per la taratura dei sistemi di misure di tensione, potenza ed energia per applicazioni in ambito e-mobility e ferroviario.
- Definizione di CMC per la taratura dei sensori di tensione e corrente in condizioni realistiche in presenza di distorsioni armoniche.
- Estensione del campo di frequenza sino a 150 kHz delle capacità di taratura relative alla misura di campi magnetici a bassa e media frequenza.

Partecipazione a confronti di misura internazionali

Sviluppo previsto. Nel triennio si intende organizzare un confronto bilaterale di misura di alte tensioni alternate con un istituto metrologico europeo. Si valuterà inoltre la partecipazione a due confronti di misura in ambito EMC, attualmente in fase di organizzazione, che riguardano la misura di intensità di campo magnetico nella gamma di frequenze da 30 Hz a 30 MHz e la taratura di pinze assorbenti nella gamma di frequenze da 30 Hz a 30 MHz.

Risultati attesi.

- Validazione, a valle dei risultati dei confronti di misura, delle capacità di misura e miglioramento dell'incertezza di misura dichiarata.

Disseminazione e organizzazione di confronti interlaboratorio

Sviluppo previsto. Proseguirà l'attività di disseminazione, a partire dai sistemi campione sviluppati nei laboratori, per le grandezze di interesse per la valutazione dell'esposizione e la dosimetria elettromagnetica (campi elettrici e magnetici variabili nel tempo e campi elettromagnetici), le misure in laboratori e in reti in media e alta tensione (tensioni e correnti AC, tensioni DC e AC, rapporti di tensioni e corrente) e la verifica della strumentazione per misure di compatibilità elettromagnetica (EMC). Con riferimento a quest'ultimo ambito, si intende, a valle della ristrutturazione e messa in sicurezza dello specifico laboratorio, riattivare l'attività di taratura di pinze assorbenti per misure di radiodisturbi, attualmente sospesa. Si organizzeranno inoltre confronti interlaboratorio nei campi di misura di interesse del settore. Proseguirà infine l'attività di revisione delle procedure di misura e delle procedure tecniche associate, incrementando il livello di automazione e la gestione digitale del processo di misura.

Risultati attesi.

- Emissione di circa 150 documenti/anno (certificati di taratura e misura, relazioni tecniche).
- Organizzazione di confronti interlaboratorio sulla base delle richieste provenienti da costruttori di strumenti e laboratori di prova industriali.

Attività Knowledge Transfer

Open data, brevetti e contratti industriali

Sviluppo previsto. Nell'ambito delle attività riguardanti l'*imaging* quantitativo e la sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici, si prevede di mettere a disposizione della comunità scientifica, su apposite piattaforme informatiche (es. GitHub) una parte degli strumenti computazionali sviluppati dal Settore. Un primo esempio di condivisione di tali strumenti, già operativo, è la libreria "EPTlib" sviluppata nell'ambito del progetto EMPIR 18HLT05 QUIERO, che colleziona diverse implementazioni di metodi per *Electric Properties Tomography* e che continuerà, nel triennio, ad essere mantenuta e sviluppata. Verrà inoltre esplorata, insieme a partner clinici, la possibilità di rendere disponibili tools, basati su database di simulazioni, per la valutazione del rischio di esposizione di pazienti portatori di impianti metallici sottoposti a tomografia MRI. Con riferimento alle attività riguardanti la misura dell'efficienza nel sistema ferroviario si prevede di: completare le azioni di *proof of concept* relative al brevetto n° 102020000013615 *Procedimento per rilevare un arco elettrico linea di contatto-unità di trazione nei sistemi DC*, nonché procedere con le

azioni per lo sfruttamento commerciale del brevetto. Si prevede inoltre di depositare un brevetto per il *detecting* degli archi elettrici nei sistemi ferroviari eserciti in AC. Nell'ambito del contratto di ricerca industriale con Ricerca sul sistema energetico RSE Spa, si sperimenteranno procedure per la caratterizzazione di concentratori di segnali provenienti da trasduttori di tensione e corrente per media tensione.

Risultati attesi.

- Messa a disposizione della comunità scientifica di *open data sull'imaging* quantitativo e la sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici.
- Definizione degli errori introdotti da concentratori di segnali utilizzati nelle sottostazioni elettriche digitali.

Didattica universitaria e formazione

Sviluppi attesi. Svolgimento di attività didattica e corsi universitari di III livello, tutoraggio di studenti di dottorato e di tesi di laurea magistrale e di primo livello, organizzazione di corsi di formazione

Risultati attesi.

- Svolgimento del corso di III livello *Mathematical-physical aspects of electromagnetism* presso il Politecnico di Torino.
- Attività didattica relativa alla dosimetria MRI, attraverso la riproposizione periodica di uno specifico corso di dottorato presso il Politecnico di Torino.
- Tutoraggio di due tesi di dottorato in Metrologia riguardanti rispettivamente i sensori per le misure di tensione in sottostazioni digitali e quelle per i sistemi a trazione elettrica.

Organizzazione di eventi e divulgazione

Sviluppo previsto. Si prevede l'organizzazione di un workshop scientifico, in parte per ottemperare agli impegni di disseminazione previsti dal progetto EMPIR 18HLT05 QUIERO, con il patrocinio dell'INRiM e di workshop e meeting nell'ambito dei progetti di ricerca finanziati.

Risultati attesi.

- Organizzazione del Joint Workshop on MR Phase, Magnetic Susceptibility & Electrical Properties Mapping (Ottobre 2021).
- Organizzazione dei workshop finali dei progetti EMPIR 16ENG04 MyRails e 16ENG08 MICEV e 18HLT05 QUIERO Realizzazione di un video sui risultati ottenuti dal progetto MyRailS.
- Organizzazione dei Workshop di medio periodo e finale del progetto 19NRM05 IT4PQ.

ACUSTICA E ULTRASUONI (ML03)



Foto di cervello murino sottoposto a processo di apertura della barriera emato encefalica mediante fascio ultrasonoro, prodotto da sistema d'insonazione progettato e realizzato dal laboratorio Ultrasuoni dell'INRiM.

Attività Ricerca e sviluppo

Acustica in Aria

Obiettivi. Sviluppo di tecniche di misura relative alla taratura di microfoni campioni in campo libero (camera anecoica) e di sistemi e metodi di misura per all'analisi dei parametri acustici relativi a trasduttori acustici di nuova generazione. Proposta di "pilot study" in ambo EURAMET relativi alla taratura di microfoni campioni in campo libero e taratura di microfoni di nuova generazione nella gamma di frequenze 100 Hz - 10 kHz.

Sviluppo previsto. La risposta di microfoni in campo libero viene solitamente ottenuta applicando opportuni fattori di correzione alla curva di taratura ottenuta con il metodo della reciprocità in pressione. Sfruttando le

caratteristiche della camera anecoica s'intende sviluppare un set-up e una metodologia di misura basata sul metodo primario della reciprocità, in grado di ottenere direttamente la curva di taratura di microfoni standard in campo libero, con conseguente riduzione dell'incertezza di circa un ordine di grandezza.

Progettazione e realizzazione di un sistema di misura, basato sulla tecnica della reciprocità, per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici basati su microsistemi elettromeccanici. Il set-up di misura sarà tale da assicurare una verifica puntuale delle caratteristiche di tali dispositivi. Grazie alla realizzazione di un adattatore che consenta l'accoppiamento meccanico con l'attuale sistema di calibrazione per i microfoni di tipo LS2, si sfrutteranno, per quanto possibile, gli strumenti e i SW utilizzati per la calibrazione dei microfoni a condensatore.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste, integrazione dei servizi offerti dal laboratorio microfoni.

Ultrasuoni

Obiettivi. I principali obiettivi legati alle attività in ambito biomedicale risultano essere (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*):

Ambito farmacologico: Sono attive collaborazioni con gruppi di ricerca che operano presso il dipartimento di Scienza & Tecnologia del Farmaco dell'Università di Torino, che hanno come tema principale l'utilizzo di campi ultrasonori per il rilascio controllato di farmaci. In tale ambito, proseguirà l'attività rivolta alla realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttori ad onda piana e HIFU. (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*)

Ambito oncologico: Verrà effettuato lo sviluppo, la caratterizzazione e l'applicazione di sistemi d'insonazione operanti nel range di frequenza 1 MHz – 3 MHz basati su trasduttori ad onda piana e HIFU. Tali sistemi verranno utilizzati nella sperimentazione in vitro ed in vivo, svolta in collaborazione con istituzioni attive nella ricerca contro il cancro (unità di Fisica Sanitaria dell'Ospedale San Raffaele). (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*)

Ambito neurologico: Verranno effettuati test *in vivo*, in stretta collaborazione con il reparto di neurochirurgia della Fondazione IRCCS Istituto Neurologico Carlo Besta, allo scopo di verificare l'efficacia di campi ultrasonori, sia a onda piana che HIFU, sfruttando i gli effetti legati alla Blood-Brain Barrier, BBB, nell'ambito di patologie neurodegenerative. Sviluppo della tecnologia e della documentazione necessaria al deposito di un brevetto relativi ad un casco stereotassico attrezzato con trasduttore ultrasonoro.

Ambito SARS COVID-2: Proseguendo la collaborazione con centri clinici coinvolti nel trattamento dei pazienti affetti da SARS COVID-2, verranno messi a punto sistemi d'insonazione LIPUS (Low Intensity Pulsed Ultrasound) al fine di trattare, in ambito clinico, tessuti fibrotici tipicamente presenti a seguito di polmoniti interstiziali. (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Sviluppo previsto. Realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su:

- Mini trasduttori (10 mm, $f = 1.0$ MHz) montato su apposito sistema meccanico al fine di permettere la visualizzazione al microscopio, della coltura cellulare, durante l'insonazione.
- HIFU ($f = 3.5$ MHz) per le attività di sperimentazione *in vitro* e *in vivo*, da realizzarsi presso Ospedale San Raffaele di Milano.
- Progettazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su trasduttore onda piana ($f = 0.5$ MHz) per l'attività di collaborazione e brevettazione con IRCCS Carlo Besta di Milano.
- Confronto e messa a punto di sistemi ecografici (estremamente diffusi in ambito clinico) al fine di ottenere valori di potenza, pressione e energia tali da consentire il trattamento, post traumatico, di pazienti affetti da polmonite interstiziale.

Risultati attesi. Pubblicazioni su riviste ad alto impatto, deposito di brevetto (in compartecipazione con il Besta), partecipazione a progetti di ricerca nazionali e internazionali.

Attività Ruolo NMI

Attività

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 in cui il settore opera. Per quanto riguarda le attività in ambito acustico, risulta strategico il mantenimento del servizio riguardante l'offerta, l'organizzazione e la valutazione tecnico-scientifica di confronti di misura interlaboratori (ILC) in ambito acustico, a supporto dei laboratori industriali accreditati o in fase di accreditamento. Il settore 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.

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

“Elettroacoustics” e IEC TC 87 “Ultrasonics”. Sovrintende i lavori del sottocomitato “Ultrasound and Underwater Acoustic” del TCAUV e partecipa ai lavori del sottocomitato “Sound in Air”.

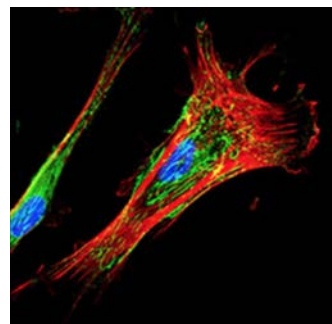
Risultati attesi. Al fine di aumentare la platea dei potenziali interessati ai lavori normativi del comitato CEI CT 29/87 “Acustica e Ultrasuoni” è previsto nel corso del biennio 2021/2022 un workshop, eventualmente in modalità telematica, da realizzarsi presso le sale del CEI, dal titolo: Strumentazione elettroacustica e verifica metrologica. Coordinamento proposta EURAMET EMPIR 18HLT06-RaChy “Radiotherapy coupled with Hyperthermia” nel periodo 2019-2022.

Attività Knowledge Transfer

Sviluppo previsto. Le attività sviluppate all'interno del progetto EURAMET EMPIR 18HLT06-RaChy consentiranno lo sviluppo di nuove metodologie sia sperimentali che teoriche nel campo degli ultrasuoni in ambito biomedico. Al fine di massimizzare l'efficacia dei trattamenti legati all'ipertermia, risulta essere fondamentale, per il buon successo della terapia, la definizione dei profili di temperatura spaziale e temporale. Tra gli obiettivi principali si evidenziano lo sviluppo di tecniche tali da consentire la predizione della deposizione di energia e dei profili di temperatura all'interno di colture biologiche durante i cicli d'ipertermia mediati da ultrasuoni.

Risultati attesi. Tra le finalità del progetto RaChy si segnala lo sviluppo di metodi di termometria per misure di temperatura che vanno da 37 ° C a 50 ° C, in vitro e in vivo. Deposito del brevetto, a titolarità congiunta INRiM-BESTA, riguardo casco stereotassico attrezzato con trasduttore ultrasonoro per utilizzo nell'ambito di patologie neurodegenerative.

SCIENZE E TECNOLOGIE BIOMEDICHE (ML04)



Immagine, ottenuta tramite microscopia ottica non-lineare, di cellule staminali mesenchimali umane che aderiscono su un substrato.

Attività Ricerca e sviluppo

Nanomateriali per applicazioni terapeutiche e diagnostiche

Obiettivi. Studio di nanomateriali per **1)** applicazioni terapeutiche basate sull'ipertermia magnetica, **2)** la diagnostica e **3)** la veicolazione e il rilascio controllato di farmaci (*drug delivery*) (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Sviluppo previsto. 1) Ipertermia magnetica: Nell'ambito del progetto EMPIR RaChy si proseguirà l'analisi modellistica di nanomateriali in ossidi di Fe o leghe magnetiche, analizzando, tramite algoritmi micromagnetici sviluppati all'INRiM, l'influenza di forma, dimensioni e concentrazione sulle proprietà di ipertermia. Per la valutazione della relativa efficacia terapeutica verranno ottimizzati codici di calcolo *in silico*, in grado di determinare la potenza depositata e l'incremento di temperatura indotto in colture cellulari e in modelli computazionali animali e umani ad alta risoluzione. In collaborazione con l'Erasmus Medical Center di Rotterdam, gli effetti risultanti dall'applicazione dell'ipertermia magnetica (mediata dai nanomateriali magnetici) verranno confrontati con quelli generati dall'ipertermia prodotta da campi elettromagnetici alle radiofrequenze. Parallelamente, si avvierà l'attività di sintesi di nanoparticelle magnetiche con tecniche in soluzione, seguita dalla funzionalizzazione superficiale per ottimizzare la biocompatibilità e la veicolazione

nei tessuti. La distribuzione spazio-temporale delle nanoparticelle nei tessuti verrà investigata attraverso modelli numerici in grado di simularne il trasporto nei vasi sanguigni e le dinamiche di rilascio, anche sotto l'azione di campi magnetici esterni. **2) Diagnostica:** Si avvieranno le attività di modellizzazione e sintesi di agenti di contrasto per l'*imaging* a risonanza magnetica (MRI), di elementi traccianti per l'*imaging* basato su particelle magnetiche (MPI) e di nanomateriali magnetici per la termometria non-invasiva. Le fasi di ottimizzazione verranno supportate da algoritmi di *machine learning*. **3) Drug delivery:** Verrà avviato uno studio su nanogocce in PFC ossigenate per la conservazione e la rigenerazione di organi destinati al trapianto (reni), e si ottimizzerà il set-up per l'*imaging* delle dinamiche di rilascio del farmaco indotte da ultrasuoni.

Risultati attesi. **1) Ipertermia magnetica:** Design di nanomateriali in NiFe, FePd e FeO per ipertermia magnetica e valutazione del rilascio nei tessuti e del riscaldamento indotto, anche attraverso simulazioni *in silico*. **2) Diagnostica:** Sviluppo di tecniche di sintesi e di modelli numerici per l'ingegnerizzazione di nanomateriali per l'MRI, l'MPI e la nanotermometria. **3) Drug delivery:** Attivazione di nanogocce in PFC mediante ultrasuoni e studi di biocompatibilità delle nanogocce su colture cellulari renali.

Materiali simulatori tissutali e biomateriali per la medicina rigenerativa

Obiettivi. **1)** Sviluppo di materiali simulatori tissutali per l'*imaging* a risonanza magnetica (MRI) e la realizzazione di *scaffold* biomimetici; **2)** caratterizzazione alla macro/nanoscala di biomateriali per la medicina rigenerativa (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Sviluppo previsto. **1) Materiali simulatori tissutali (MST):** Nell'ambito del progetto EMPIR QUIERO verranno realizzati *phantom* antropomorfi per la caratterizzazione di tecniche di diagnostica MRI di tipo quantitativo, con la possibilità di modulare indipendentemente le proprietà elettriche e quelle di rilassamento. Inoltre, si svilupperanno MST per l'implementazione di *scaffold* di nuova generazione, che verranno successivamente testati *in vitro*. **2) Medicina rigenerativa:** Nel corso del progetto ERC-BIORECAR, coordinato dal DIMEAS (POLITO), si caratterizzeranno, tramite *droplet digital PCR* (ddPCR), metodi metabolici e tecniche di microscopia, i processi di riprogrammazione, mediati da microRNA veicolati da liposomi, di fibroblasti in cardiomiociti. Inoltre, proseguirà l'analisi dei meccanismi di differenziamento di cellule staminali su membrane nano/microstrutturate in poliuretano e verrà approfondito lo studio delle proprietà meccaniche e morfologiche di *scaffold* in idrogel di fibrina, tramite tecniche di spettroscopia non lineare (*Transient-Grating* e 2D-IR) e microscopia non-lineare (TPE, CARS, SHG). Verranno anche preparati *scaffold* in elastomeri liquido-cristallini con proprietà meccaniche e microstrutturali specifiche per ciascun tipo di cellula; tali *scaffold* verranno testati per la crescita di cellule staminali mesenchimali differenziate a condrociti verso la coltura *in vitro* del tessuto cartilagineo.

Risultati attesi. **1) MST:** *Phantom* eterogenei per la simulazione di diversi tipi di tessuti, incluse eventuali lesioni. **2) Medicina rigenerativa:** Evidenze sperimentali della maggiore efficienza dei liposomi rispetto a trasfettanti commerciali nella veicolazione di microRNA; caratterizzazione di *scaffold* in idrogel di fibrina, poliuretano e elastomeri liquido-cristallini e del loro ruolo nei processi di proliferazione cellulare.

Misura di biomarcatori e diagnostica *in vitro*

Obiettivi. Sviluppo di metodi per la quantificazione di biomarcatori molecolari/cellulari e di indicatori di stati patologici tramite **1)** la tecnica ddPCR e **2)** l'analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA); **3)** design di sensori magnetici nano/microstrutturati per la diagnostica *in vitro* (Obiettivi in linea con i Focal Point *Supporting the quality of life and health* e *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. **1) Misura di biomarcatori tramite ddPCR:** Nell'ambito del Bando "Innova per l'Italia", in risposta all'emergenza sanitaria COVID-19, si svilupperà un metodo di analisi per la misura di copie del virus SARS-CoV-2. Verranno inoltre ottimizzati metodi di diagnostica molecolare finalizzati alla misura di biomarcatori estratti da biopsie liquide, per la diagnosi precoce di malattie neurodegenerative e oncologiche.

2) Individuazione di stati patologici tramite INAA: In collaborazione con il Centro Nazionale di Informazione Tossicologica, si validerà il metodo di misura del Co depositato in campioni di capelli. Il metodo verrà quindi applicato in 30 pazienti portatori di protesi metalliche in monitoraggio presso l'Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna, per individuare i pazienti che necessitano di sostituzione della protesi. **3) Sensori magnetici:** Si studieranno, attraverso codici numerici micromagnetici sviluppati in INRiM, *device concept* basati su cristalli magnonici, per la realizzazione di sensori ad elevata sensibilità operanti nella banda dei gigahertz. Tali sensori verranno testati con esperimenti *in silico* nella rilevazione di nanoparticelle magnetiche disperse in soluzione, utilizzate come *label* di marcatori molecolari. Le relative prestazioni verranno confrontate con quelle di sensori nanostrutturati magnetoresistivi.

Risultati attesi. **1) Misura di biomarcatori tramite ddPCR:** Sviluppo di un nuovo metodo per la quantificazione e la diagnosi accurata del virus SARS-CoV-2 e ottimizzazione dei protocolli di estrazione di RNA da cellule e biopsie liquide. **2) Individuazione di stati patologici tramite INAA:** Determinazione della

correlazione tra la quantità di Co depositato nei capelli e lo stato di funzionamento della protesi. **3) Sensori magnetici:** Ottimizzazione di dispositivi miniaturizzati basati su cristalli magnonici per la quantificazione di nanoparticelle magnetiche disperse in soluzione.

Tecniche innovative di microscopia

Obiettivi. Realizzazione, ottimizzazione e applicazione su sistemi biologici e *scaffold* per medicina rigenerativa di tecniche di *imaging*, basate su **1)** microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF, **2)** microscopia a forza atomica (AFM) e **3)** tomografia ottica a radiazione coerente (OCT) (Obiettivi in linea con i Focal Point *Supporting the quality of life and health e Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. **1) Microscopia ottica non-lineare:** In collaborazione con l'IRCCS Istituto Ortopedico Galeazzi di Milano verranno effettuati esperimenti in *time-lapse* per lo studio della dinamica di *uptake* cellulare di nano-vescicole con funzione antinfiammatoria e rigenerativa del tessuto cartilagineo. Lo studio, che verrà eseguito su tessuti umani e bioingegnerizzati utilizzando le tecniche CARS-SHG-TPEF, richiederà lo sviluppo di algoritmi di analisi delle immagini per la valutazione della profondità di penetrazione delle nano-vescicole, dell'area e del volume occupati e della colocalizzazione. Contestualmente, si realizzeranno algoritmi per identificare e differenziare le specie chimiche presenti in un campione, partendo da immagini ottenute con micro-spettroscopia CARS. Verrà inoltre sviluppata la tecnica di microscopia non-lineare *label-free Stimulated Raman Scattering* (SRS). **2) AFM:** Verranno implementate tecniche per la misurazione e la mappatura della forza meccanica prodotta da sistemi cellulari. In combinazione con la micro-spettroscopia CARS, le stesse tecniche verranno impiegate per la caratterizzazione di materiali polimerici microstrutturati per applicazioni nella microrobotica e nella medicina rigenerativa. Si studieranno inoltre gli effetti di *photosoftening* dovuti alla presenza di specifici cromofori nelle microstrutture e la forza sviluppata in materiali a cambiamento di forma. **3) OCT:** Dopo la validazione del sistema OCT a 1.5 μm , si realizzerà il suo upgrade utilizzando una sorgente a 1.06 μm che consentirà di analizzare tessuti biologici, con profondità di penetrazione di qualche millimetro. Per aumentare la velocità di scansione si integrerà il sistema con specchi galvanometrici e con uno spettrofotometro veloce.

Risultati attesi. **1) Microscopia ottica non-lineare:** Sviluppo di algoritmi per l'elaborazione delle immagini e l'estrazione di parametri dai campioni misurati (composizione chimica, localizzazione e occupazione spaziale dei composti). **2) AFM:** Protocolli per la spettroscopia di forza su sistemi cellulari e la caratterizzazione di *scaffold*. **3) OCT:** Acquisizione veloce di immagini in 3D di *scaffold* e sistemi biologici.

Attività Ruolo NMI

Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio

Obiettivi. Partecipazione a confronti internazionali e interlaboratorio negli ambiti **1)** della metrologia delle bioscienze e **2)** dell'analisi per attivazione neutronica.

Sviluppo previsto. **1)** Si parteciperà alla definizione e alla realizzazione di diversi studi pilota organizzati dal "Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology" (CCQM) del BIPM, negli ambiti dei Working Group "Cell Analysis" (CAWG) e "Nucleic Acid Analysis" (NAWG). Tali studi pilota saranno finalizzati all'analisi quantitativa di cellule su substrati e in sospensione, mediante tecniche di microscopia, e di biomarcatori molecolari, tramite ddPCR. Parallelamente, si contribuirà alla realizzazione di un confronto internazionale su misure di vitalità cellulare in *scaffold*, nell'ambito del Working Group ASTM on Cell Viability. **2)** Si parteciperà ad un confronto organizzato dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA), finalizzato alla validazione di software che implementano il metodo di standardizzazione e calibrazione k0-INAA per la determinazione di frazioni di massa di elementi chimici.

Risultati attesi. **1)** Completamento degli studi pilota CCQM-NAWG P199b "SARS-CoV-2 RNA copy number quantification", CCQM-CAWG P214 "Enumeration of fixed peripheral blood mononuclear cells in suspension" e CCQM-CAWG P197 "Proliferative stem cell number per unit area" (ove INRiM partecipa in qualità di laboratorio pilota); proseguimento, all'interno del Working Group CCQM-NAWG, del confronto chiave sulla quantificazione del marker tumorale HER2, e degli studi pilota sulla metilazione del DNA e sull'identificazione di proteine in matrici complesse; proseguimento, in ambito ASTM, del confronto internazionale su vitalità cellulare in applicazioni della medicina rigenerativa, per arrivare allo standard WK62115 "New Test Method for Measuring Cell Viability in a Scaffold". **2)** Validazione del software k0-INRiM e dei bilanci di incertezza, implementati in accordo con la "Guida all'espressione dell'incertezza di misura" (GUM).

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

Obiettivi. Contributo alle attività di gruppi di lavoro metrologici e/o normativi grazie alle competenze sviluppate negli ambiti **1)** della metrologia delle bioscienze, **2)** dell'analisi per attivazione neutronica e **3)** della misura dei fenomeni di cavitazione.

Sviluppo previsto. **1)** Riguardo all'attività normativa, verrà sottomessa al terzo ciclo di revisione la guida "Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method", proposta dal sotto-comitato ASTM F04.43 "Cells and Tissue Engineered Constructs for TEMPs". **2)** Nell'ambito del Working Group "Isotope Ratios" (IRWG) del CCQM ed in collaborazione con il "Chemical Process and Nuclear Measurements Group" del NIST, verranno sviluppati metodi di misura del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ tramite INAA. **3)** In riferimento al piano strategico 2019-2029 del "Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration" (CCAUV) del BIPM, verrà proposto lo sviluppo di prototipi per la misura spaziotemporale dei segnali prodotti dalla cavitazione, per applicazioni industriali e nel *drug delivery*.

Risultati attesi. **1)** Affinamento della guida ASTM WK55364 sulla misura della proliferazione cellulare in scaffold 3D. **2)** Misura del rapporto $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ con incertezza relativa 0.1%. **3)** Prototipi per la misura dei segnali prodotti dalla cavitazione acustica.

Attività di networking tra NMI

Obiettivi. Attività nell'ambito delle reti *European Metrology Network* (EMN), all'interno di EURAMET.

Sviluppo previsto. Si contribuirà al consolidamento delle reti EMN **1)** TraceLabMed e **2)** Mathmet, attraverso la realizzazione delle attività previste nei rispettivi progetti (JNP).

Risultati attesi. **1)** EMN TraceLabMed: censimento delle attività dei laboratori di accreditamento e supporto all'organizzazione di confronti inter-laboratorio che rispondano alla normativa UE 2017/746 in termini di riferibilità dei dispositivi medico-diagnostici *in vitro*. **2)** EMN Mathmet: sviluppo di software per simulazioni *in silico* nel campo delle nanotecnologie applicate alle scienze della vita; supporto all'organizzazione di workshop e attività di formazione in ambito matematico-numerico.

Supporto all'accreditamento

Obiettivi. Supporto ad ACCREDIA nel campo dei materiali biologici di riferimento.

Sviluppo previsto. Nell'ambito della convenzione con ACCREDIA, si fornirà supporto all'accreditamento delle biobanche, in conformità con la recente norma UNI ISO 20387, che si prefigge di assicurare la riproducibilità dei risultati ottenuti sul materiale biologico e la qualità dei campioni.

Risultati attesi. Stesura di due regolamenti ACCREDIA (generale e tecnico) che specificano i requisiti normativi per agevolare l'accreditamento delle biobanche.

Attività Knowledge Transfer

Attività rivolta al trasferimento tecnologico, consulenze e servizi tecnico/professionali

Obiettivi. Contratti e consulenze industriali nei campi biomedicale, sanitario, farmaceutico e ambientale.

Sviluppo previsto. **1)** Sviluppo di metodi e strumenti di misura del rumore di cavitazione idrodinamica generato da reattori per applicazioni ambientali e farmaceutiche. **2)** Sviluppo di metodi di misura per la caratterizzazione di dispositivi per la protezione individuale, attività iniziata con la partecipazione al Bando "Innova per l'Italia", concepito in risposta all'emergenza sanitaria COVID-19.

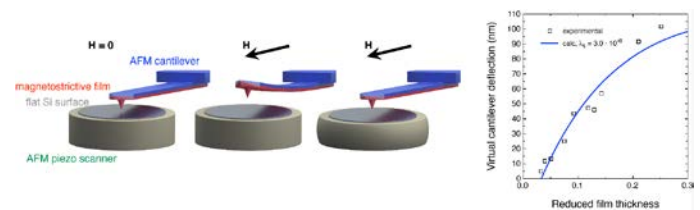
Risultati attesi. **1)** Ottimizzazione di sensori per la misura dell'attività di cavitazione prodotta in impianti pilota per trattamenti industriali di biomasse e per applicazioni farmaceutiche. **2)** Caratterizzazione del potere filtrante di dispositivi di protezione delle vie respiratorie.

Didattica universitaria, formazione e divulgazione scientifica

Obiettivi & Sviluppo previsto. Formazione di studenti di III, II e I livello, addestramento alla ricerca e attività di divulgazione sui temi relativi allo sviluppo di metodi di analisi e tecnologie per applicazioni nei campi biomedicale, metrologico e della scienza dei materiali.

Risultati attesi. **1)** Tutoraggio di 4 dottorandi (POLITO), di cui per 3 è previsto il conseguimento del titolo, 3 studenti di II livello (POLITO), 3 studenti di I livello (tirocini curriculari con POLITO e UNITO) (dati in media per anno). **2)** Svolgimento di lezioni ed esercitazioni nei corsi di I livello "Statistica sperimentale e misure meccaniche" (POLITO) e di II livello "Radiochimica" (UNIPV). **3)** Supporto all'organizzazione di eventi di divulgazione scientifica, come la *Notte Europea dei Ricercatori*. **4)** Contributo all'organizzazione di workshop nel corso dei progetti EMPIR in cui il settore è coinvolto. **5)** Attività editoriale nell'ambito di un numero speciale della rivista scientifica *Nanomaterials*, dal titolo "Magnetic Nanomaterials and Nanostructures".

MAGNETISMO, MATERIALI E SPINTRONICA (ML05)



Schema di misura della magnetostrizione utilizzando AFM con soft cantilevers bimorfi ricoperti di film magnetostrittivo.

Attività Ricerca e sviluppo

Magnetismo nei materiali allo stato solido

Obiettivi. Comprensione e misura dei fenomeni magnetici nei materiali con analisi dei processi di dissipazione di energia su scala strutturale da nano a bulk e frequenze operative da DC ai GHz; miglioramento delle capacità di misura delle grandezze magnetiche in un ampio spettro di condizioni: confronti di misura su materiali innovativi. (Obiettivi in linea con i Focal Point *Monitoring the environment and support the development of clean technologies, Supporting the quality of life and health e Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. 1) Misure delle proprietà di materiali magnetici in un ampio spettro di frequenze; 2) Analisi teoriche e definizione di modelli fisici per la descrizione dei fenomeni magnetici su diverse scale dimensionali; 3) Studio degli effetti di modifiche strutturali e/o di composizione dei materiali; 4) Studio sperimentale e teorico del processo di magnetizzazione (fino a 1 GHz) scalare e vettoriale, con attenzione ai fenomeni di dissipazione energetica in materiali nano/microcristallini, ferriti dolci e compositi magnetici dolci (Soft Magnetic Composites). Estensione delle capacità di misura al campo dei minerali naturali: ambiente e beni culturali; 5) Misura della magnetostrizione in film sottili tramite microscopia a scansione di sonda (AFM); 6) Sviluppo di un sistema microscopico magneto-ottico per l'osservazione della dinamica dei domini magnetici in un ampio campo di frequenze in nastri e lamierini ferromagnetici. Il suo utilizzo permetterà di indagare il comportamento magnetico di materiali a grani orientati nell'ambito del progetto HefMag; 7) Investigazione della micro- e nano-struttura magnetica di film sottili mediante microscopia a forza magnetica in campo; 8) Studio dei processi di magnetizzazione in nanostrutture magnetiche mediante tecniche magnetometriche e misure di ipertermia.

Risultati attesi. 1) ottimizzazione delle proprietà magnetiche dei materiali in funzione delle loro applicazioni; 2) riduzione dei fenomeni di dissipazione nei processi di produzione/trasformazione di energia elettromagnetica; 3) estensione degli standard e delle capacità di misura a materiali innovativi, frequenze di lavoro crescenti (ICT) e nuove aree di applicazione correlate a energia, salute, ambiente e beni culturali; 4) pubblicazioni su riviste internazionali.

Materiali innovativi per la spintronica e il nanomagnetismo

Obiettivi. Preparazione di materiali innovativi ad alto impatto potenziale in campo 1) biomedico, 2) spintronico e sensoristico, 3) industriale. (Obiettivi in linea con i Focal Point *Monitoring the environment and support the development of clean technologies, Supporting the quality of life and health e Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. Preparazione di nanostrutture e di film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves, di spin-Seebeck, e per la magneto-meccanica. 1) preparazione per via chimica o fisica di nanoparticelle magnetiche anche core-shell in vista di possibili impieghi nel campo biomedico (agenti di contrasto per diagnostica tramite risonanza magnetica, ipertermia magnetica o somministrazione guidata di farmaci); 2) preparazione di 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; 3) studio della tecnica sonochimica come mezzo di idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica o l'immagazzinamento di idrogeno (collaborazione con ML4). 4) Crescita e caratterizzazione film sottili con magnetoresistenza anisotropica per sensoristica biomedica (Nano4Brain); 5) preparazione di film multifunzionali compositi costituiti da materiali magnetostrittivi accoppiati meccanicamente con substrati flessibili o piezoelettrici, per lo studio dell'attuazione magnetica mediante campi elettrici (BeMAGIC); 6) realizzazione di composti magnetici di Heusler sotto forma di film sottili prodotti per sputtering o epitassia a fascio molecolare (collaborazione con ML1); 7) produzione di microfibre metalliche amorfe, ottenute per solidificazione rapida, per applicazioni biomediche.

Risultati attesi. **1)** Perfezionamento delle competenze necessarie allo sviluppo di materiali innovativi per la biomedicina, la spintronica, la sensoristica e l'industria; **2)** presentazione dei risultati ottenuti nel consesso dei progetti finanziati; **3)** pubblicazione dei risultati ottenuti su riviste scientifiche internazionali.

Spintronica

Obiettivi. **1)** Spin caloritronics: studio degli effetti di interazione di correnti di spin e correnti di calore; **2)** Spin currents: studio della generazione, misurazione e conduzione delle correnti di spin e la loro interazione con strutture magnetiche attraverso spin torque; **3)** Dzyaloshinskii-Moriya Interaction (DMI): studio della costante di DMI in diversi eterostrutture e l'effetto sulle strutture magnetiche chirali; **4)** Spin waves and Magnonics: studio delle onde di spin o magnetizzazione in sistemi non-planari e con relazione di dispersione non-reciproca; **5)** Effetto del campo elettrico sui fenomeni di interfaccia: comprensione teorica degli effetti di un campo elettrico sulle proprietà magnetiche di un film ultrasottile (Obiettivi in linea con i Focal Point *Monitoring the environment and support the development of clean technologies* e *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. **1)** a) spin Seebeck/Peltier su campioni bi-layer ferromagneti isolanti/metalli pesanti (e.g. ferriti e garnet con Pt, W, Ta) a diverse geometrie. b) spin Seebeck imaging; **2)** a) spin Hall magnetoresistance su campioni bi-layer ferromagneti isolanti/metalli pesanti a diverse geometrie e valutazione dello spin Hall angle e spin diffusion length b) Effetti di spin orbit torque in eterostrutture metalliche. **3)** a) Setup di un servizio di misura della DMI con sistema magnetooptico, e algoritmi correlati per la stima del valore nell'espansione di bolle magnetiche. b) Sviluppo di una tecnica per la misura elettrica della DMI attraverso le onde di spin. c) Analisi del round robin sulla DMI. (ambito progetto EMPIR TOPS); **4)** a) Onde di spin in geometria sferica o cilindrica. b) Effetti di non-reciprocità nella relazione di dispersione delle onde di spin. c) Misura della dispersione di onde di spin attraverso la fase acquisita; **5)** Valutazione dell'effetto di un campo elettrico sulla anisotropia magnetica perpendicolare e sulla interazione di Dzyaloshinskii-Moriya mediante lo studio delle interazioni fondamentali e della struttura elettronica all'interfaccia utilizzando simulazioni mediante la Density Functional Theory (DFT). Valutazione della variazione della struttura elettronica dopo ossidazione dell'interfaccia. Valutazione delle effetti del campo elettrico accoppiato alle spin currents. Studio di metodi alternativi per la valutazione del funzionale di exchange (DFT) mediante tecniche di Machine Learning e Reti Neurali.

Risultati attesi. **1)** confronto tra materiali isolanti diversi, convalidazione della reciprocità di effetto spin Seebeck e spin Peltier e dipendenza degli effetti da parametri dei materiali (paper). studio di una tecnica per la misura locale della costante spin Seebeck e imaging di magnetizzazione; **2)** misura affidabile dello spin Hall angle in metalli pesanti (paper e capacità di misura), efficienza dello spin orbit torque in diversi sistemi ferromagneti metallici/metalli pesanti (paper) e effetti del campo elettrico sulle correnti di spin (paper); **3)** setup e tecniche di misura incluso modelli per valutare la costante di DMI in modo affidabile (capacità di misura), comprensione della dispersione dei dati di misura della costante di DMI (report e paper), comprensione degli effetti del campo elettrico sull'interazione DM (paper); **4)** studio teorico e sperimentale delle onde di spin o magnetizzazione in sistemi non-planari (paper), comprensione dell'influsso di parametri (come per esempio la DMI) sulla non-reciprocità della relazione di dispersione (paper); **5)** Stima quantitativa dell'effetto del campo elettrico sui valori di anisotropia perpendicolare e di DMI, e utilizzo di questi risultati per spiegare risultati sperimentali ottenuti nell'ambito del progetto MagnEFi, con possibili pubblicazioni congiunte.

Attività Ruolo NMI

Metrologia magnetica

Obiettivi. **1)** Miglioramento e consolidamento della metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici; **2)** Anticipazione dei bisogni metrologici nei campi della spintronica e del nanomagnetismo.

Sviluppo previsto. **1)** Pianificazione di round robin per le misure di perdita su Epstein e SST (progetto HEFMAG). Progettazione di nuova strumentazione a controllo digitale per il laboratorio di magnetismo (banco balistico digitale e nuovo wattmetro). Misura magnetica in regimi non convenzionali (nuovi materiali commerciali di basso spessore, alta temperatura < 200 °C, alta frequenza, flusso distorto, presenza di effetto pelle, flussi bidimensionali). Realizzazione di esperimenti di risonanza magnetica nucleare tramite il metodo del rilassamento spontaneo; **2)** Definizione di uno standard ISO per la caratterizzazione magnetica di sospensioni acquose di nanoparticelle (progetto MagNaStand).

Risultati attesi. Consolidamento e miglioramento delle CMC dichiarate. Rapporti tecnici sulla nuova strumentazione e sugli esperimenti effettuati. Pubblicazioni nel campo dei materiali magnetici.

Attività Knowledge Transfer

Formazione e divulgazione scientifica

Obiettivi. **1)** aumento della capacità di attrazione di laureandi e giovani ricercatori; **2)** formazione di laureandi, dottorandi e giovani ricercatori; **3)** ampliamento dell'offerta di attività didattiche di base e percorsi di approfondimento sull'elettromagnetismo attraverso risorse multimediali dedicate a studenti della scuola primaria e secondaria; **4)** realizzazione di un kit con esperimenti portatili per la didattica del magnetismo (MagBox); **5)** richiamo dell'interesse del pubblico verso i temi del magnetismo e delle tecnologie ad esso associate

Sviluppo previsto.

- Corsi "*Magnetism, magnetic materials and measurements*" (III livello, Polito)
- Corso "*Fisica dello stato solido e laboratorio: laboratorio (materiali magnetici)*" (Corso di I livello, Università del Piemonte Orientale)
- Tutoraggio di tirocini e tesi di laurea triennale e magistrale e di dottorato
- Partecipazione ai progetti 'Batti il 5' e 'Settimane a scuola' per la divulgazione delle scienze nelle scuole primaria e secondaria di primo grado, anche attraverso la didattica a distanza
- Partecipazione ai gruppi di lavoro "*Education & Outreach*" e "*AlMagn Colloquia*" dell'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione
- Partecipazione al Centro Interdipartimentale per la Cristallografia Diffrattometrica (CRISDI) dell'Università di Torino
- tutoraggio di progetti di alternanza scuola-lavoro previsti dalla Legge 107/2015
- realizzazione di contenuti multimediali per la didattica a distanza verso le scuole primaria e secondaria (lezioni on-line, webinar, presentazioni, video) con possibile collocazione sulla piattaforma di INDIRE⁴
- realizzazione di un kit didattico con esperimenti portatili per la didattica del magnetismo (MagBox) in collaborazione con il CNR e l'Associazione Italiana di Magnetismo (*AlMagn*)
- Accoglienza di gruppi scolastici per attività didattiche e visite ai laboratori;
- Partecipazione ad eventi di public engagement (es. Notte europea dei ricercatori)
- Preparazione di video per YouTube di Early Stage Researchers del progetto MagnEFi di divulgazione scientifica sulle nuove pubblicazioni; Utilizzo di Twitter e Instagram per presentare e far conoscere il progetto

Risultati attesi. **1)** Tesi di laurea magistrale e di dottorato svolte nei laboratori del settore; **2)** Kit didattico con esperimenti sul magnetismo (MagBox) disponibile sul catalogo 'Science in a Box' del CNR (<http://sciencebox.cnr.it/>) per le scuole di ogni ordine e grado; **3)** contributi allo sviluppo della società della conoscenza attraverso: la formazione di studenti delle scuole superiori, universitari, laureandi, giovani ricercatori, l'insegnamento diretto nelle scuole, le visite ai laboratori di ricerca; **4)** divulgazione al grande pubblico delle tematiche di ricerca del settore per mostrare l'importanza per la società della ricerca nel campo dei materiali e dispositivi magnetici.

Trasferimento tecnologico

Obiettivi. Trasferimento di tecniche di misura e di modellizzazione avanzata per materiali magnetici tradizionali e innovativi.

Sviluppo previsto. **1)** Attività di disseminazione nell'ambito dei progetti europei EMPIR 19ENG06-HEFMAG, TOPS, MagnEFi e BEMAGIC; **2)** Attraverso il consorzio Proplast, offerta di trasferimento tecnologico alle aziende piemontesi; **3)** Promozione e svolgimento di contratti industriali con aziende italiane e straniere operanti nel settore elettrotecnico.

Risultati attesi. **1)** Consolidamento del ruolo del gruppo nei confronti di stakeholders nazionali e internazionali; **2)** Ampliamento del bacino d'utenza per l'attività di caratterizzazione dei materiali

⁴ Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa <http://www.indire.it/webinar-per-gli-studenti-a-cura-degli-enti-pubblici-di-ricerca/>

c. Fonti di finanziamento

Scienza e Tecnologia alla Nanoscala

- Progetto EMPIR: 14IND01 3DMetChemIT
- Progetto EMPIR: 15HLT01 MetVBadBugs
- Progetto EMPIR: 16ENV07 Aeromet
- Progetto EMPIR: 19ENV08 Aeromet II
- Progetto EMPIR: 19ENG05 NanoWires
- Progetto Premiale 2016: VolumePhotography
- Progetto Premiale 2016: QUANTUMET
- Progetto NFFA: ID 840 Block Copolymer based hyperbolic metamaterials
- Contratto industriale_Bosch
- Attività di Servizio (ex Commerciale): conto terzi/contratti industriali Lab. QR (25 k€ annui)

Campi e sistemi elettromagnetici

- EMPIR 16ENG04 MyRailS "Metrology for smart energy management in electric railway systems" – Coordinamento
- EMPIR 16ENG08 MICEV – "Metrology for inductive charging of electric vehicles"- Coordinamento
- EMPIR 17IND06 Future Grid II - "Metrology for the next-generation digital substation instrumentation
- EMPIR18HLT05 QUIERO "Quantitative MR-based Imaging of Physical Biomarkers" (2019-2022) - Coordinamento
- EMPIR 18NET03 SEG-NET "Support for a European Metrology Network on smart electricity grids"
- EMPIR 18NET05 Mathmet "Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics"
- EMPIR 19NRM05 IT4PQ "Measurement methods and test procedures for assessing accuracy of instrument transformers for power quality measurements" - Coordinamento
- Contratto industriale Ricerca sul Sistema Energetico RSE SpA "Miglioramento dell'accuratezza della misura di tensione, corrente ed energia nelle reti di distribuzione e trasmissione dell'energia elettrica (2020-2021)
- Attività di disseminazione e altri contratti industriali- Introito previsto 160 k€/anno

Scienze e tecnologie biomediche

- EMPIR 18HLT06 Rachy "Radiotherapy coupled with hyperthermia" (2019-2022)
- EMPIR 18HLT05 QUIERO "Quantitative MR-based Imaging of Physical Biomarkers" (2019-2022)
- EMPIR 18NET02 TraceLabMed "Traceability in Laboratory Medicine" (2019-2024)
- EMPIR 18NET05 MATHMET "Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics" (2019-2023)
- H2020-ERC BIORECAR "Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues" (2018-2023)
- Contratto Industriale ESA - Università di Pisa "Laser Interferometry Gauge and Accelerometer" (LIG-A) (2019-2021)
- EMPIR Research Mobility Grant 18HLT06-RMG1 "Development of numerical tools for the simulation of magnetic nanoparticle spatial-temporal distribution in biological tissues"
- Altri contratti industriali – Introito previsto: 30 k€/anno

Magnetismo, Materiali e Spintronica

- EMPIR 16NRM04 MAGNASTAND Towards an ISO standard for magnetic nanoparticles
- EMPIR 16NRM02 SURFACE Pavement surface characterisation for smart and efficient road lighting
- EMPIR 17FUN08 TOPS Metrology for topological spin structures
- EMPIR 18HLT06 RACHY Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept (2019 - 2022)
- Progetto Premiale 2019: Nano4brain
- Progetto Industriale "Specific contract for and R&D collaboration for an extended characterization of magnetic steel sheets under alternating rotational ands distorted flux" Voith Hydro Holding GmbH & Co KG
- Progetto MCSA-ITN "Magnetoelctrics Beyond 2020: a Training Programme on Energy-Efficient Magnetoelctric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies" (2019-2023)
- Progetto MCSA-ITN MagnEFi Magnetism and the effects of Electric Fields (2019-2023)

- Contratto industriale_Bosch "Performing a detailed magnetic characterization under alternating, circular and elliptical flux loci of one grade of magnetic lamination (M330 Steel Sheet), over a wide range of peak polarization, frequency and directions"
- Attività di Servizio/disseminazione (ex Commerciale): conto terzi/contratti industriali circa 250 k€/anno

Divisione “Metrologia applicata e ingegneria (AE)”

Data Inizio:	01-01-2021	Data Fine:	31-12-2023
---------------------	-------------------	-------------------	-------------------

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

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

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

a. Finalità e Obiettivi

In linea con il Documento di *Vision* decennale dell'INRiM “*Metrology towards 2030*”, le attività della Divisione si articolano su tutti i sei *Focal Point*: *Monitoring the environment and support the development of clean technologies*, *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*, *Supporting the quality of life and health*, *Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*, *Developing technology for space applications and research*, *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*. Sono inoltre in linea con i seguenti punti del Programma Nazionale Ricerca 2021-2027: – Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico, Art. 4.6.3 Industria intelligente, Art. 5.1.4 Reti e veicoli green e clean.

Nel quadro del Sistema Internazionale delle unità di misura, e secondo l'attribuzione a INRiM delle funzioni di Istituto Metrologico Primario (L. 273/1991), la Divisione cura la ricerca metrologica istituzionale per le grandezze di pertinenza, la realizzazione pratica e la disseminazione delle unità di misura delle grandezze meccaniche e termodinamiche e la disseminazione per le grandezze elettriche, anche in risposta alle nuove opportunità offerte dalla ridefinizione delle unità del SI. Contribuisce inoltre alle attività di terza missione, sia mediante servizi di prova, sia in riferimento al trasferimento tecnologico e alla formazione.

La Divisione partecipa attivamente alle seguenti reti metrologiche europee (*European Metrology Network - EMN*), anche in collaborazione con le altre Divisioni: *EMN on Climate and Ocean Observations* e *EMN for Mathematics and Statistics* (MATHMET). È inoltre coinvolta nelle seguenti EMN in fase di costituzione: *EMN on Advanced Manufacturing* e *EMN on Clean Energy*.

L'elevata interdisciplinarietà delle competenze all'interno della Divisione e la mutua interazione tra metrologia e ricerca applicata, si sviluppano in varie aree di ricerca organizzate nei seguenti cinque settori scientifici:

Metrologia della massa e delle grandezze apparentate

Il settore, oltre a mantenere i campioni e disseminare le unità delle grandezze di competenza (masse, volumi, densità, portate di liquidi, portate e volumi di gas, pressioni e vuoto, forze, durezza, gravità), conduce attività di ricerca per lo sviluppo di nuovi sistemi e metodi di misura e taratura e per l'estensione delle capacità di misura e taratura, anche legati alle possibilità offerte dal nuovo SI.

Metrologia della lunghezza

Oltre al mantenimento dei campioni e alla disseminazione delle unità delle grandezze dimensionali, l'attività ha l'obiettivo di migliorare le conoscenze, sviluppare dispositivi e tecniche nel campo della metrologia della lunghezza applicata ai campi della nanometrologia, delle misure industriali e della ricerca spaziale.

Misure elettriche ed elettroniche

L'attività riguarda la metrologia elettrica primaria, sia in riferimento al mantenimento dei campioni materiali e delle scale, sia in materia di disseminazione verso i Centri di taratura Accreditati (Laboratori LAT) italiani. Svolge attività di ricerca e sviluppo in autonomia e in collaborazione con NMI, a vantaggio delle attività di ricerca di base e realtà industriali italiane e straniere. Gli ambiti di ricerca sono multidisciplinari, a vantaggio dell'ambiente, della qualità della vita e delle tecnologie industriali applicate in produzione. Un ulteriore contributo importante, alle realtà produttive del territorio, deriva dal Laboratorio Alte Tensioni e Forti Correnti (LATFC) che, oltre all'attività di disseminazione, realizza attività di prova di importanti parametri elettrici rivolti alla verifica e validazione di sicurezza e di risparmio energetico per le apparecchiature elettriche civili ed industriali.

Termodinamica Fisica

L'attività riguarda lo sviluppo di metodi di misura e campioni di temperatura primari e secondari basati sull'utilizzo di metodi acustici, ottici, a microonde, per contatto e radiometrici, il mantenimento e la disseminazione della Scala Internazionale di Temperatura (STI-90) attraverso punti fissi fra 4 K e 1235 K e mediante tecniche di termometria a radiazione al di sopra di tale intervallo, lo sviluppo di applicazioni scientifiche e tecnologiche innovative nel campo della metrologia termica. Vengono sviluppati generatori, campioni di umidità in matrice gassosa o solida funzionanti su regimi estesi di temperatura e pressione, attraverso lo sviluppo di nuovi metodi di calcolo e di misura. Vengono inoltre condotte attività di ricerca sulla misura di proprietà termofisiche di fluidi in fase liquida e gassosa, e di materiali di particolare interesse scientifico, in contesti aventi finalità ambientali, incluso il risparmio energetico.

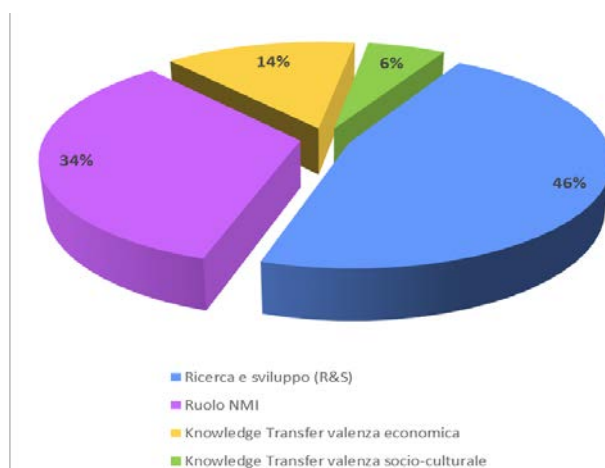
Termodinamica applicata

Il settore si occupa di applicazioni industriali e ambientali della termodinamica, nelle misure termiche, in processi radiativi e in chimica delle miscele gassose. Le tematiche di sviluppo nel triennio riguardano e si sviluppano per mezzo di misure in chimica dei gas e dell'acqua, misure termiche e termodinamiche in atmosfera, interazioni termodinamiche in criosfera, studio delle caratteristiche di sensori termici per aeronautica e meteorologia, metodi matematici a supporto della metrologia, applicazioni di metodi radiometrici e fotometrici allo studio di proprietà dei materiali.

Distribuzione dei mesi-persona 2020 nei Settori della Divisione "Metrologia applicata e ingegneria (AE)".

Risorse umane	Mesi/persona (m/p)	m/p in %
Metrologia della massa e delle grandezze apparentate (AE01)	156	20
Metrologia della lunghezza (AE02)	183	23
Misure elettriche ed elettroniche (AE03)	124,3	16
Termodinamica Fisica (AE04)	229,4	29
Termodinamica applicata (AE05)	95	12
Totale	787,7	100

I due grafici successivi riportano l'impegno del personale nella Divisione per tipologia di attività, distinguendo tra personale strutturato (TI e TD) e non strutturato (assegnisti, personale in formazione e associati).



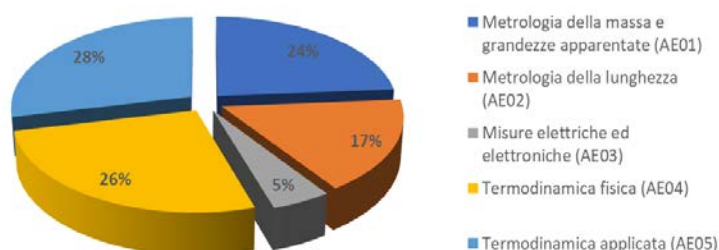
Distribuzione percentuale dei mesi-persona (strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.



Distribuzione percentuale dei mesi-persona (non strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.

Pubblicazioni su rivista indicizzata 2020

Nel 2020 le pubblicazioni scientifiche su riviste indicizzate della Divisione AE sono state ripartite nei cinque settori come illustrato in grafico. Nonostante si tratti di dati parziali per l'anno 2020, la produzione scientifica risulta equivalente a quanto prodotto nell'anno 2019, anno in cui è stata costituita la Divisione. Da questo confronto, ci si aspetta che la produzione non solo si mantenga costante, ma possa ulteriormente incrementarsi nel triennio. Va sottolineato che l'impegno di tutti i settori non è equamente bilanciato nelle tre missioni, per cui il coinvolgimento in attività di seconda e terza missione può spiegare le disomogeneità nella produzione scientifica in termini di pubblicazioni.

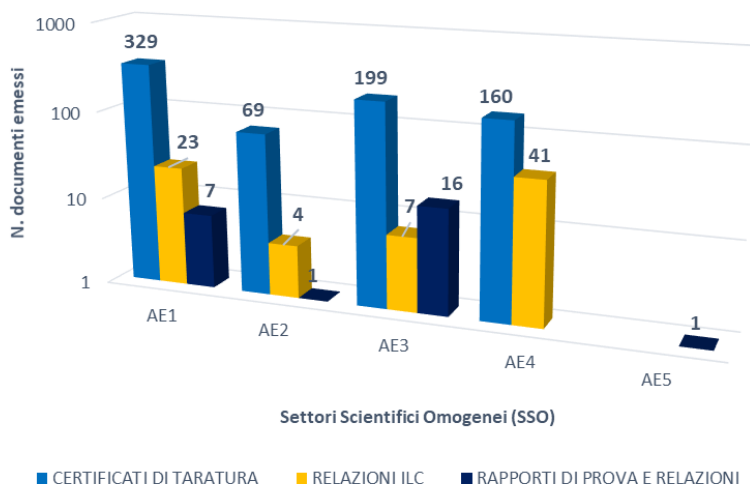


Servizi conto terzi 2020

La Divisione AE è molto attiva nel ruolo NMI per le grandezze di propria pertinenza. In quest'ambito, la Divisione fornisce servizi di taratura sia verso l'esterno, sia per i laboratori dell'INRiM. La Divisione coordina inoltre lo svolgimento di ILC, in particolare per i laboratori accreditati. Considerando i dati a disposizione, solo parziali per l'anno 2020, la Divisione ha finora emesso 757 certificati di taratura e 75 relazioni di ILC. In grafico è riportata la ripartizione entro i settori di AE. Come si può evincere dall'esame del grafico, vi sono alcuni settori che giocano un ruolo preponderante, con un coinvolgimento elevato.

Tra i servizi erogati a terzi che non rientrano nel ruolo NMI, la Divisione fornisce attività di prova. Nel 2019, sono stati emessi 25 documenti tra rapporti di prova e relazioni, dei quali il 64% è prevalentemente legato alle attività nell'ambito delle alte tensioni e forti correnti.

Il confronto con i dati dell'anno 2019 mostra una flessione nel numero totale di documenti prodotti, che risulta particolarmente marcata in alcune aree evidentemente più colpite dalla contrattura del mercato, dovuta alle ripercussioni delle misure restrittive messe in atto per il contenimento del Covid-19. Per gran parte delle aree l'attività risulta in linea con quella del 2019. Si tratta in ogni caso di dati parziali. Le ripercussioni della pandemia legata al Covid-19 sul mercato e sulle attività delle piccole industrie e dei Laboratori accreditati, principali beneficiari delle attività di taratura e ILC, potrebbe comportare una flessione significativa delle attività di certificazione nel corso del triennio.



b. Contenuto Tecnico Scientifico

METROLOGIA DELLA MASSA E DELLE GRANDEZZE APPARENTATE (AE01)



Gravimetro portatile sviluppato in INRiM.

Attività Ricerca e sviluppo

Massa

Obiettivi. 1) Sviluppo di algoritmi e software per migliorare i metodi utilizzati per la realizzazione della scala di massa. (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*)

Sviluppo previsto. 1) Partecipazione al progetto EMPIR 19RPT02 RealMass "Improvement of the realisation of the mass scale". INRiM è responsabile del WP3 "Development of mathematical and software tools". **2)** Studio dei diversi metodi e dei diversi schemi di pesata utilizzati per la realizzazione della scala di massa.

Risultati attesi. 1) Definizione delle specifiche e dell'interfaccia grafica del software da realizzare. **2)** Implementazione di un software *user friendly* per la realizzazione della scala di massa.

Portate di liquidi

Obiettivi. **1)** Studio di fattibilità per lo sviluppo di un sensore per la misura indiretta dell'energia termica per via indiretta, senza la necessità della misura di portata (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*)

Sviluppo previsto. **1)** Progettazione e realizzazione del sensore di energia termica

Risultati attesi. **1)** Validazione del modello di misura

Massa e Densità

Obiettivi. **1)** Collaborazione con l'INFN di Sesto Fiorentino per la caratterizzazione dei campioni di massa da utilizzare per un esperimento per la misura di G, progetto ERC MEGANTE (*MEasuring the Gravitational constant with Atom interferometry for Novel fundamental physics TESTs*) (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*)

Sviluppo previsto. **1)** Misura dell'omogeneità della densità dei materiali utilizzati per la realizzazione delle masse utilizzate nell'esperimento. Dall'analisi dell'omogeneità verrà scelto il materiale più adatto per la realizzazione delle masse

Risultati attesi. **1)** Misura della densità dei campioni di test utilizzati per l'esperimento.

Portate e Volumi di gas

Obiettivi. **1)** Sviluppo degli impianti esistenti per miglioramento incertezze (*Focal Point "Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*). **2)** Taratura di campionatori d'aria: sviluppi teorici e strumentazione dedicata (*Focal Point "Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies"*). **3)** Analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata discreta (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*). **4)** Sviluppo e rifacimento di una Vasca Idrodinamica per prove su installazioni marine, in collaborazione con DIMEAS-PoliTO (*Focal Point "Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies"*).

Sviluppo previsto. **1)** Completamento validazione software acquisizione impianto MICROGas versione 2.0, sviluppo versione 2.1 con inseguimento pistone e analisi incertezza (teoricamente dovrebbe essere migliore). Completamento e test software acquisizione impianto BELLGas versione 1.0, analisi incertezza, valutazione possibili miglioramenti. Sviluppo impianto MEGas, revisione incertezza, ampliamento delle capacità operative. **2)** Sviluppo calcoli incertezza per campionatori d'aria. **3)** Completamento calcoli incertezza di integrazione discreta. **4)** Progetto nuova vasca idrodinamica

Risultati attesi. **1)** Software impianto MICROGas 2.1 e BELLGas 1.0 operativi. **2)** Impianto MEGas operativo. **3)** Pubblicazioni scientifiche su incertezza, sviluppo impianti.

Pressione

Obiettivi. **1)** Sviluppo di un sistema innovativo per la misura della densità/pressione di un gas mediante *scattering* Rayleigh (RAY).

2) Sviluppo di un sistema ottico per la misura della pressione di un gas mediante rifrattometria (UINT) (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

Sviluppo previsto. **1)** Analisi della luce spuria non imputabile al fenomeno dello *scattering* e successiva adozione di tecniche opportune per il contenimento di tale effetto, al fine di ottimizzare l'accuratezza del sistema di misura. Realizzazione dell'apparato comprendente camera da vuoto e controllo termico e conseguente caratterizzazione metrologica del sistema RAY; esecuzione confronto di misura tra sistema RAY ed altro campione primario INRiM. **2)** Analisi agli elementi finiti delle deformazioni meccaniche dovute alla gravità nel ramo di misura dell'interferometro UINT e in una cavità Fabry-Perot. Studio di *ray-tracing* per valutare le caratteristiche di divergenza del fascio laser. Realizzazione e caratterizzazione metrologica del nuovo campione di pressione UINT e misura della differenza di cammino ottico tra i due rami dell'interferometro, mediante un metodo indipendente; esecuzione confronto di misura tra sistema UINT ed altro campione primario INRiM.

Risultati attesi. **1)** Realizzazione di un nuovo sistema di misura in cui la pressione è determinata attraverso la misura dello *scattering* Rayleigh in presenza di molecole di gas in un ampio intervallo di pressione da 10 Pa a 1 MPa; pubblicazione su rivista internazionale. **2)** Realizzazione di un campione ottico di pressione basato sulla misura dell'indice di rifrazione di un gas, mediante un interferometro a multi-riflessione. Sviluppo di una nuova versione di tale campione, che opererà nell'intervallo tra 100 Pa e 150 kPa; pubblicazione su rivista internazionale.

Vibrazioni

Obiettivi. **1)** *Mise-en-pratique* di un sistema di taratura (primario) per le accelerazioni dinamiche e di taratura (per confronto) per lo *shock* di sensori accelerometrici triassiali MEMS/NEMS digitali (*Focal Point*

"Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"). **2)** sviluppo di un sistema di taratura per basse frequenze (sismica). **3)** Definizione di modelli statistici per la taratura a campione di MEMS digitali e riferibilità reti di sensori (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*). **4)** Caratterizzazione di proprietà meccaniche di metamateriali ad indice di rifrazione negativo e/o coefficiente di Poisson negativo.

Sviluppo previsto. **1)** Realizzazione di un sistema di misura e taratura di accelerometri digitali MEMS triassiali da 0.1 ms⁻² a 20 ms⁻² (da 0.5 Hz a 5 kHz) e per lo shock (da 20 g a 10 000 g, da 5 Hz a 20 kHz): tale sistema prevede l'utilizzo di un opportuno supporto per la taratura simultanea su tre assi. **2)** Realizzazione di un sistema di taratura, mediante nuova slitta orizzontale, per la taratura di sismometri e di accelerometri a bassissima frequenza (sotto 1 Hz fino a 0.01 Hz). **3)** Realizzazione di piani sperimentali di campionamento per la taratura *on-line* ed *in-line* di accelerometri MEMS digitali su larga scala. Attribuzione della riferibilità a reti di sensori. **4)** Nell'ambito del progetto PRIN2017 si indagano le procedure e le tecniche di misurazione delle proprietà rifratto-negative, nell'ambito della trasmissione di onde elastiche, in materiali a struttura periodica, tra 1 Hz e 10 kHz.

Risultati attesi. **1)** Realizzazione e collaudo del sistema di taratura primario di accelerazioni dinamiche per sensori digitali. **2)** Collaudo del sistema di taratura per confronto a shock per sensori digitali. **3)** Studio di fattibilità di taratura su base "statistica" e definizione di riferibilità a rete di sensori. **4)** Verifica e collaudo del sistema di taratura di accelerometri e sismometri a bassissima; studio di metodologie di misura per le proprietà meccaniche di meta-materiali.

Forza

Obiettivi. **1)** Studio del vettore forza (nelle sue varie componenti) per la definizione di nuove metodologie di misura (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **2)** Analisi dei vari fattori di influenza della misura e nella realizzazione dei campioni di forza.

Sviluppo previsto. **1)** Sviluppo metodologie innovative per taratura di macchine di prova multicomponenti (EMPIR 18SIB08 ComTraForce "*Comprehensive traceability for force metrology services*"). **2)** Realizzazione macchina campione di forza da 100 kN

Risultati attesi. **1)** Nuovi metodi di misura e taratura delle macchine di prova nel settore multicomponenti. **2)** Avvio della costruzione dei particolari per la nuova macchina campione di forza da 100 kN a pesi diretti.

Durezza

Obiettivi. **1)** Ampliamento delle conoscenze dei fattori di influenza delle misure di durezza. **2)** Nuovi metodi e strumenti di misura per migliorare l'incertezza di misura.

Sviluppo previsto. **1)** Continuazione dell'analisi fattori d'influenza delle misure di durezza Rockwell, continuazione dell'analisi delle caratteristiche meccaniche dei penetratori a sfera di carburo di tungsteno (collaborazione col Politecnico di Torino). **2)** Continuazione dello sviluppo di algoritmi di analisi di immagini interferometriche per la misura delle caratteristiche geometriche dei penetratori di diamante e studio e miglioramento dei campioni di durezza.

Risultati attesi. **1)** Report sui coefficienti di sensibilità delle misure di durezza da pubblicare sul sito del BIPM e pubblicazioni su riviste internazionali (Metrologia, Measurement, ecc.). **2)** Nuovi Algoritmi sw per la misura della geometria dei penetratori di diamante e nuovo microdurometro.

Gravità

Obiettivi. **1)** Miglioramento dell'esperimento della caduta libera dei gravi alla base del gravimetro assoluto trasportabile IMGC-02 (*Focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **2)** Partecipazione alla realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero (*Focal point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"*).

Sviluppo previsto. **1)** implementazione del nuovo interferometro ottico; studio sistema inerziale di riferimento per le misure interferometriche; realizzazione nuovo sistema di lancio simmetrico del grave. **2)** Misure assolute del campo gravitazione terrestre in diversi siti di riferimento della nuova rete gravimetrica nazionale e Confronto dei gravimetri assoluti italiani

Risultati attesi. **1)** Migliore funzionalità e riproducibilità del gravimetro assoluto trasportabile IMGC-02 e pubblicazioni su riviste nazionali ed internazionali (Metrologia, Measurement, Applied Geophysics, ecc...). **2)** Istituzione della rete gravimetrica nazionale di ordine zero e partecipazione ai gruppi di lavoro e alle riunioni degli organismi internazionali del settore.

Attività Ruolo NMI

Massa

Sviluppo previsto. 1) Completamento dell'automazione dei sistemi di pesata per la disseminazione della scala di massa. Automazione della bilancia da 0 a 5 g. 2) Attività di *peer visit* o di accreditamento di Istituti metrologici stranieri.

Risultati attesi. 1) Realizzazione del sistema di pesata automatico e sua validazione. 2) Esami documentati e visite ispettive. 3) organizzazione di ILC per laboratori accreditati ACCREDIA. 4) Partecipazione a confronti internazionali.

Densità

Sviluppo previsto. 1) Coordinamento del confronto chiave EURAMET.M,D - K4.2020 sulla taratura di idrometri, nel campo da 600 kg/m³ a 2000 kg/m³ (nove istituti partecipanti). 2) Miglioramento misure di volume di piccoli campioni (da 1 g a 20 g)

Risultati attesi. 1) Stesura dei Draft A e Draft B del confronto e pubblicazione rapporto su Metrologia. 2) Realizzazione di un sistema automatico per la pesata idrostatica adatto per piccoli volumi.

Portate di liquidi

Sviluppo previsto. 1) Estensione del campo di misura a valori inferiori di 40 L/h. 2) Realizzazione di un nuovo sistema di taratura basato sul metodo della pesata dinamica. 3) Attività di *peer visit* o di accreditamento di Istituti metrologici stranieri.

Risultati attesi. 1) Estensione delle CMC delle misure di portata. 2) Esami documentati e visite ispettive. 3) Organizzazione di ILC per laboratori accreditati ACCREDIA. 4) Partecipazione a confronti internazionali.

Portate e Volumi di gas

Obiettivi. 1) Riduzione incertezze impianto MicroGas. 2) Automazione misure impianto BellGas. 3) Sviluppo sistema di controllo impianto MeGas per estendere le capacità di misura (es. taratura MFC). 4) Attività preliminari per taratura di fughe calibrate. 5) Confronto KCBD per piccolissime portate. 6) Supporto a NMISA per preparazione e svolgimento Confronto Internazionale AFRIMETS. 7) Attività di *peer visit* o di accreditamento di Istituti metrologici stranieri.

Sviluppo previsto. 1) Sviluppo software per impianti MICROGas e BELLGas. 2) Completamento costruzione e test del nuovo controllo per impianto MEGas. 3) Progetto e costruzione banco prova per fughe calibrate. 4) Progetto, costruzione e test TS per Confronto KCDB.

Risultati attesi. 1) Software impianto MICROGas 2.1 e BELLGas 1.0 operativi. 2) Banco per fughe calibrate. 3) Completamento Confronto con NMISA. 4) Nuovi ILC per LAT. 5) Esami documentali e visite ispettive.

Pressione

Obiettivi. 1) Gestione e mantenimento dei campioni nazionali di pressione e relative CMC ed attività di disseminazione. 2) Miglioramento del sistema ad espansione statica e conseguente validazione.

Sviluppo previsto. 1) Disseminazione della grandezza pressione; organizzazione ed esecuzione di confronti inter-laboratorio; attività ruolo NMI in ambito internazionale; partecipazione a confronto internazionale in mezzo liquido nell'intervallo di pressione tra 2 MPa e 100 MPa. 2) Esecuzione di un confronto di misura interno tra sistema ad espansione statica ed un altro campione primario INRiM; sviluppo di un software per la taratura di vacuometri *spinning rotor*; partecipazione a confronto internazionale in mezzo gassoso nell'intervallo di pressione tra 5x10⁻⁴ Pa e 1000 Pa.

Risultati attesi. 1) Disseminazione della grandezza pressione tramite attività di taratura e relativa emissione di certificati; scrittura di report tecnici riguardanti i confronti inter-laboratorio; partecipazione alle riunioni degli organismi internazionali del settore; attività di *peer review* presso altri NMI. 2) Reinserimento della CMC associata al sistema ad espansione statica, dopo le modifiche effettuate per estendere l'intervallo di pressione in cui opera il sistema.

Vibrazioni

1) Riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e a reti di sensori e definizione della sensibilità "digitalizzata" (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions*). 2) Sviluppo di sistema di taratura a eccitazione monoassiale per 3 assi simultanei. 3) Definizione di metodologie per taratura a campionamento statistico, sulla base delle indicazioni del documento BIPM "Strategy 2019 to 2029" del CCAUV.

Forza

Sviluppo previsto. 1) Miglioramento della disseminazione delle misure di forza multicomponenti. 2) Miglioramento dei campioni primari. 3) Attività di *peer visit* o di accreditamento di Istituti metrologici stranieri. 4) Organizzazione di ILC.

Risultati attesi. 1) Report tecnici su nuove metodologie di misure multicomponenti. 2) Inizio costruzione nuova macchina campione di forza da 100 kN e realizzazione nuovi sistemi di controllo delle macchine campione di forza (1,3 kN, 30 kN, 100 kN, 1 MN) e partecipazione al confronto chiave CCM.F.K-23. 3) Esami documentali e ispezioni tecniche. 4) Partecipazione ai gruppi di lavoro e alle riunioni degli organismi internazionali del settore. 5) Report di ILC

Durezza

Sviluppo previsto. 1) Miglioramento dei campioni primari, dei sistemi di misura del Laboratorio e delle CMC. 2) Attività di *peer review* o di accreditamento di NMI stranieri.

Risultati attesi. 1) Messa in funzione del nuovo microduremetro, miglioramento CMC dei penetratori di diamante Vickers, nuove CMC dei penetratori di diamante Knoop. 2) Ispezioni tecniche e *peer review* di altri NMI (NIMT-Tailandia, CMS/ITRI-Taiwan, UME-Turchia). 3) Partecipazione ai gruppi di lavoro e alle riunioni degli organismi internazionali del settore.

Gravità

Sviluppo previsto. 1) Campagne di misura. 2) Miglioramento e sviluppo delle CMC attuali. 3) Attività di *peer review* presso altri NMI.

Risultati attesi. 1) Misure assolute per i LAT. 2) Studio nuove CMC per la taratura dei gravimetri assoluti e relativi. 3) *Peer review* di altri NMI (NIMT, CENAM, ...).

Attività Knowledge Transfer

Massa

Sviluppo previsto. 1) Organizzazione di corsi per la taratura di campioni di massa rivolti ai laboratori ACCREDIA e attività di consulenza.

2) Partecipazione al Tavolo di lavoro "Strumenti per pesare" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. 3) Consulenza per la ditta SNAM RETE GAS per i software utilizzati per l'analisi del gas metano attraverso misure gascromatografiche (*Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*). 4) Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri.

Risultati attesi. 1) Svolgimento di corsi sulla taratura. 2) Preparazione delle schede tecniche per l'esecuzione delle verificazioni periodiche sulle bilance automatiche. 3) Contratto di consulenza per la ditta SNAM RETE GAS. 4) Esami documentati e visite ispettive.

Portate di Liquidi

Sviluppo previsto. 1) Partecipazione al Tavolo di lavoro "Sistemi misurazione liquidi diversi dall'acqua e gas metano per autotrazione" e al Tavolo di lavoro "Utility Meter" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. 2) Studio di un modello più accurato di quello indicato nel DM del 1958 per la verifica dei distributori di GPL attraverso l'utilizzo delle bombole metriche. 3) Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri.

Risultati attesi. 1) Preparazione delle schede tecniche per l'esecuzione delle verificazioni periodiche per i contatori per carburanti, acqua e misuratori di energia termica. 2) Validazione e pubblicazione di un nuovo modello di calcolo per la verifica dei distributori di GPL. 3) Esami documentali e visite ispettive.

Portate e Volumi di gas

Sviluppo previsto. 1) Consulenza a ditte per sviluppo di laboratori di portate gas e/o anemometria. 2) Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri.

Risultati attesi. 1) Contratti di consulenza per sviluppo di laboratori. 2) Esami documentali e visite ispettive.

Vibrazioni

Sviluppo previsto. 1) Studio di fattibilità del sistema di taratura triassiali e campionamento statistico per il trasferimento (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

Risultati attesi. 1) Divulgazione degli aspetti innovativi della sensoristica per vibrazioni basata su MEMS/NEMS digitali e taratura a bassissima frequenza (0.01 Hz – 1 Hz), taratura su larga scala e resti di

sensori. **2)** Docenza c/o Politecnico di Torino nel corso di "*Illuminotecnica e controllo del rumore*", per un totale di 35 ore.

Pressione

Obiettivi. **1)** Divulgazione delle nuove tecniche per la realizzazione di campioni di pressione (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

Sviluppo previsto. **1)** Organizzazione di un evento mirato alla divulgazione a livello nazionale degli studi condotti nell'ambito del progetto EMPIR 18SIB04 "QuantumPascal".

Risultati attesi. **1)** Divulgazione degli aspetti innovativi delle nuove realizzazioni del pascal, al fine di informare la comunità italiana di riferimento che opera nell'ambito della grandezza pressione.

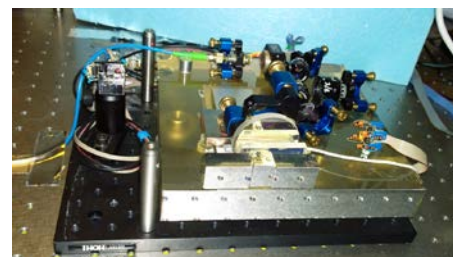
Forza, Durezza, Gravimetria

Obiettivi. **1)** Divulgazione delle nuove tecniche per la realizzazione di campioni di forza e durezza (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **2)** Divulgazione scientifica e trasferimento delle conoscenze in ambito metrologico. **3)** Supporto all'accreditamento. **4)** Attività di supporto allo sviluppo delle norme di settore in ambito ISO TC164.

Sviluppo previsto. **1)** Contratti cessione di know-how. **2)** Docenze Universitarie. **3)** Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri. **4)** Partecipazione ai gruppi di lavoro e alle riunioni degli organismi internazionali del settore.

Risultati attesi. **1)** Contratto cessione di know-how per la realizzazione di macchina campione di forza. **2)** Docenza c/o Politecnico di Torino al Corso di Laurea di ingegneria Meccanica su "Statistica Sperimentale e Misure Meccaniche". **3)** Ispezioni tecniche per enti di accreditamento: ACCREDIA-Italia, ISRAC- Israele, EIAC-Emirati Arabi.

METROLOGIA DELLA LUNGHEZZA (AE02)



Picometer reference actuator 2.

Attività Ricerca e sviluppo

Interferometria X/ottica (COXI)

Obiettivo. Sviluppare competenze (teoriche e sperimentali), tecnologie e infrastrutture metrologiche (nel campo della metrologia dimensionale e angolare con risoluzione picometrica e del nanoradiante mediante interferometria ottica e a raggi X) per la ricerca fondamentale. Sviluppare competenze teoriche, matematiche, modellistiche e statistiche per la metrologia, l'analisi e l'interpretazione dei dati e ottimizzare le decisioni con informazioni incomplete e incerte. Contribuire alla misura di costanti fondamentali per la fisica (sezioni C - *Impact for other fields of science* e *Implementation of the new SI* (per la realizzazione dell'unità di massa a livello del kg) del documento di Vision, *Focal Point Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Sviluppo previsto. **1)** Trasferimento, upgrade, installazione, e la messa a punto degli apparati per la topografia X a contrasto di fase e la misurazione del parametro reticolare del silicio, non più attivi e in attesa di essere trasferiti presso i nuovi laboratori. Saranno caratterizzate/realizzate ex-novo i) due piattaforme

antivibranti da 12000 kg ciascuna, ii) il controllo termico del nuovo laboratorio, iii) la riferibilità al metro mediante due sorgenti Nd-YAG duplicate e stabilizzate, iv) le catene di rivelazione e *imaging* delle frange di interferenza X utilizzando tecnologie a stato solido (es SiPM), v) l'interferometria laser (eterodina ottica e "digital phase-locked loops" per la misurazione simultanea di spostamenti e angoli mediante tecniche di "differential wavefront sensing"). **2)** Piena operatività del laboratorio e ripristino delle capacità di misura assoluta per la determinazione della d_{220} . Predisposizione degli spazi per accogliere l'esperimento BIPM / Università di Birmingham. **3)** Il completamento della misurazione del parametro reticolare in corso presso il *Physikalisch Technische Bundesanstalt* – previsto tra il 2021 e 2022 – potrebbe richiedere di rideterminare la misurazione presso l'INRiM per indagare l'origine di eventuali discrepanze e – nel corso del 2023 – di avviare (in collaborazione) lo sviluppo di un comparatore di reticoli capace di risolvere *strain* di 1 nm/m.

Risultati attesi. **1)** Sviluppare tecniche di misura e controllo dimensionale e angolare necessarie alla realizzazione di interferometri a neutroni operanti con cristalli separati. **2)** Studiare sperimentalmente (mediante topografia a raggi X a contrasto di fase) lo *strain* indotto in un interferometro X dall'ossidazione delle superfici. **3)** Verificare sperimentalmente predizioni teoriche sulla propagazione dei raggi X in cristalli curvi. **4)** Studiare teoricamente e verificare sperimentalmente potenziali errori sistematici nella misura del passo reticolare del silicio originati da aberrazioni del secondo ordine dell'interferometro X. **5)** Studiare (teoricamente e sperimentalmente) la fattibilità di verifiche di laboratorio del redshift gravitazionale e della formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. **6)** Ospitare, installare e operare la bilancia di torsione BIPM / Università Birmingham per la misurazione della costante di gravitazione universale. **7)** Rispondere alle necessità di integrazione tra metrologia e metodi matematici e statistici. **8)** Aumentare l'attrattività di studenti e dottorandi. **9)** Inserire l'attività in nuove collaborazioni nazionali e internazionali. **10)** Pubblicazioni su riviste scientifiche.

Metrologia dimensionale

Obiettivi e Sviluppo previsto. **1)** Applicazione alla ricerca delle nuove tecniche di misura interferometriche sviluppate nell'ambito dei progetti EMPIR (LAME e Geometre) e ESA (LIG-A). **2)** Riduzione dell'incertezza nelle misure d'angolo (anche attraverso l'uso del Ring Laser) e delle righe ottiche. **3)** Realizzazione tecniche e strumenti di termometria acustica per migliorare la conoscenza della velocità del suono (progetto Geometre, con AE04) e per la realizzazione di termometri da campo (con AE05) (*Focal Point Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies*). **4)** Implementazione di misure ottiche di forma, confronto misure a contatto e non su geometrie complesse (progetto Met4Wind) (*Focal Point Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies*).

Risultati attesi. **1)** Pubblicazioni scientifiche (2 per anno). **2)** Prototipo dimostratore del termometro da campo per ambienti ostili. **3)** Riduzione dell'incertezza nella conoscenza della velocità del suono in aria.

Nanometrologia e metrologia delle superfici

Obiettivi e sviluppo previsto. **1)** Consolidamento dei metodi di misura AFM di nanoparticelle (NP) non sferiche (bipiramidi, piattine; collaborazione con UniTo), e realizzazione di campioni di forma e dimensioni alla nanoscala con NP e nanostrutture di origine vegetale (collaborazione con UniTo e CNR-IPSP). **2)** Implementazione della microscopia di forza (*Heterodyne Force Microscopy*, *Kelvin Force Microscopy*) con estensione capacità di misura di proprietà meccaniche ed elettriche di materiali e campioni alla nanoscala. **3)** Sviluppo di procedure e campioni per la misura ottica 3D di forma e tessitura areale di superfici, confronto metodi di misura a contatto e non (progetto Met4Wind, progetto EMPIR TracOptic, in collaborazione con settore nanotecnologie ML 01). **4)** Taratura dinamica di tastatori a contatto (progetto ProbeTrace). **5)** Realizzazione di un sistema di misura capacitivo differenziale per piccole rotazioni e micro/nanospostamenti (possibile collaborazione con industria MARPOSS).

Risultati attesi. **1)** Pubblicazioni scientifiche.

Metrologia a coordinate e lunghe distanze

Obiettivi. **1)** Sviluppo di metodi e strumenti per la metrologia su grandi distanze (>10 m) con incertezze <10⁻⁶.

Sviluppo previsto. **1)** Proseguimento di attività finalizzate allo sviluppo di metodi per la valutazione dell'incertezza applicabile nell'industria (progetto EUCoM, coordinamento) e quelle legate alle applicazioni di grandi dimensioni (progetto LaVA), in particolare nel campo delle macchine utensili di grandi dimensioni e dell'interferometria su lunghe distanze. **2)** Realizzazione di metodi e strumenti per la misura della temperatura su lunghe distanze attraverso la velocità del suono in aria standard con incertezza migliore di 100 ppm (progetti LaVA e Geometre).

Risultati attesi. **1)** Pubblicazioni, realizzazione di prototipi di termometro acustico per ambienti industriali fino a 50 m (LaVA) e per basi geodetiche Geometre) fino a 200 m.

Metrologia per lo spazio (*Focal Point "Developing technology for space applications and research"*)

Obiettivi. Migliorare le potenzialità di attrazione di fondi da parte delle agenzie spaziali e delle industrie aerospaziali. Proseguire le collaborazioni in atto con le industrie Thales e STI e con ESA e ASI.

Sviluppo previsto. L'attività di sviluppo di sistemi di misura che INRiM svolge con l'industria aerospaziale e le agenzie spaziali richiede di essere meglio coordinata e arricchita di infrastrutture quali: tavole antivibranti, ambienti termostataati, camere a vuoto e camera pulita, per cercare di incrementare la taglia degli investimenti e finanziamenti raccolti.

Si prevedono le seguenti attività specifiche:

1) Collaborazione con AE01 per test di vibrazione e shock per la qualifica dei prototipi e collaborazione con AE05 per qualifica termica dei prototipi. **2)** Consolidamento della partecipazione di INRiM all'interno del consorzio della missione LISA: i) realizzazione di test bed per soluzioni tecniche; ii) individuazione e stima dei contributi al budget di incertezza; possibile collaborazione con il dipartimento di fisica dell'Università di Trento. **3)** Attività sperimentale e teorica per la valutazione dell'incertezza e degli errori degli accelerometri di volo a supporto delle missioni ESA BepiColombo e JUICE.

Risultati attesi. **1)** Nuovi contratti di ricerca. **2)** Pubblicazioni scientifiche. **3)** Realizzazione di nuove *facility* con fondi di contratti per l'attrazione di ulteriori finanziamenti.

Realizzazione del kilogrammo secondo il nuovo SI (in collaborazione con AE01 e AE03)

Obiettivi. Progetto e realizzazione di bilancia elettrostatica alla scala dei milligrammi con incertezza $<10^{-4}$ per la realizzazione del kg attraverso la costante di Plank. Progetto finanziato dal bando grandi investimenti 2020

Sviluppo previsto. L'attività prevede l'acquisto di una bilancia, di un ponte capacitivo e di un calibratore, richiede il progetto e la realizzazione di meccanica, elettro-ottica e software ad hoc.

Risultati attesi. **1)** Pubblicazione su rivista e partecipazione a conferenze. **2)** Realizzazione di nuovo campione primario per le piccole masse (risultato ottimale).

Prototipazione

Obiettivi e sviluppo previsto. Incrementare le capacità di progettazione e prototipazione del settore attraverso l'integrazione della capacità progettuale con software per il disegno ottico (Zemax) con i software per modellizzazione meccanica già disponibili (Comsol, Ansys). Acquisizione di nuovi pacchetti software (Comsol). Addestramento del nuovo personale tecnico assunto nel settore.

Attività Ruolo NMI

Metrologia dimensionale

Obiettivi: **1)** Ammodernamento del campione del metro. **2)** Svecchiamento ed estensione/miglioramento delle capacità di misura delle stazioni di misura diametrale e dei blocchetti corti **3)** Ammodernamento della stazione dei blocchetti lunghi. **4)** Aumento della produttività delle misure angolari. **5)** Partecipazione attiva nelle organizzazioni metrologiche europee ed internazionali e in network internazionali.

Sviluppo previsto. **1)** Sostituzione dell'elettronica di controllo dei due campioni He-Ne stabilizzati su I_2 e sostituzione della cella del campione del Winters. **2)** Aumentare l'automatizzazione delle misure d'angolo per migliorare l'incertezza e ridurre i tempi di taratura. **3)** Aggiornamento *software/hardware* della macchina di misura Moore (campioni diametrali e lineari) con integrazione di una tavola rotante di precisione per la taratura completa dei campioni diametrali e miglioramento della conoscenza dei parametri ambientali. **4)** Persona di contatto nel TC-L di EURAMET; delegato nazionale nel CCL;

Risultati. **1)** Partecipazione a un confronto chiave CCL e partecipazione come pilota ad un confronto EURAMET. **2)** Nuova stazione e procedura di taratura di potenziometri angolari. **3)** Riduzione incertezza a 70 nm per i diametrali e a 100 nm per i calibri a passo. **4)** Rapporto finale (*Draft B ed executive report*) confronto chiave EURAMET.L-K4 sui campioni diametrali. **5)** Partecipazione al confronto EURAMET.L-K1.2019 sui blocchetti corti (report misure, draft A). **6)** Coordinamento di un ILC sui campioni a facce fino a 100 mm (anno 2021). **7)** Coordinamento confronto EURAMET.L-K3.2019 su campioni angolari (primo confronto internazionale su *encoder* ottici). **8)** Riattivazione della CMC dei blocchetti lunghi. **9)** Svolgimento dei *task* specifici entro le organizzazioni i comitati e i *network* i cui è garantita la rappresentanza o il coordinamento.

Nanometrologia e metrologia delle superfici

Sviluppo previsto. **1)** Preparazione e caratterizzazione di nuovi campioni 3D alla nanoscala con nanoparticelle non sferiche e nanostrutture di origine vegetale (collaborazione con CNR-IPSP e UniTo, proposta di progetto). **2)** Proposta nuova CMC per la taratura di nanoparticelle quasi-sferiche. **3)** Estensione delle

capacità di misura senza contatto di forma e tessitura su campioni e superfici funzionali (metodo areale); stesura procedure e linee guida delle misure ottiche di forma e finitura (progetto EMPIR TracOptic. **4**) Partecipazione a confronti su misure ottiche di superfici (confronto CIRP). **5**) Coordinamento ILC su campioni di rugosità.

Risultati attesi. **1)** Dichiarazione di nuove CMC. **2)** Nuovi campioni 3D alla nanoscala.

Metrologia a coordinate

Sviluppo previsto. **1)** Nuova capacità di misura per macchine di misura 1D, completamento delle stazioni di taratura di blocchetti lunghi e di calibri a passi fino a 1020 mm. **2)** Implementazione del quarto asse (tavola rotante) della CMM.

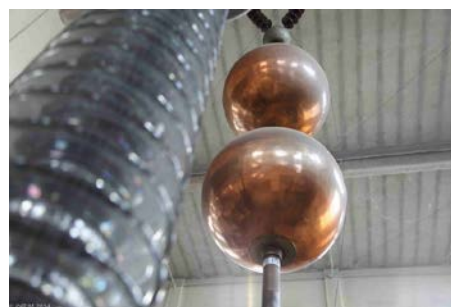
Risultati attesi. **1)** Dichiarazione di una nuova CMC.

Attività Knowledge Transfer

Obiettivi. **1)** Massimizzare l'impatto tecnologico e scientifico dei progetti e delle attività in corso. **2)** Affrontare le esigenze di ricerca degli stakeholder scientifici e industriali. **3)** Erogare attività di formazione. **4)** Attività di divulgazione scientifica. **5)** Partecipazione attiva nei comitati normatori.

Sviluppo previsto e risultati attesi. **1,2)** Associazioni di settore (CMM Club Italia); Attività di consulenza (società private, ministero, camere di commercio). **3)** Corsi di metrologia per insegnanti; Corsi per studenti di dottorato (anno 2019-2020); Workshop UniTo di matematica (2019-2020); Attività di tutoraggio studenti universitari e scuole superiori; Realizzazione di un'aula didattica per le scuole (dove concentrare parte delle visite delle giornate aperte con esperimenti stabili dedicati). **4)** Partecipazione attiva alle settimane della scienza, con visite ai laboratori da parte delle scolaresche; Conferenze di divulgazione sul nuovo SI; Organizzazione convegni; Referaggio articoli su rivista internazionale; Vicedirezione della rivista scientifica Metrologia. **5)** Attività di normazione ISO (*membership* ISO/TC213 WG16, WG10, AG1; coordinamento ISO/TC213/WG4); attività di normazione UNI (presidenza UNI/CT047 TPD e GPS; coordinamento UNI/CT047/GL1 e UNI/CT047/GL4).

MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE (AE03)



Spinterometro a sfere per alte tensioni.

Attività Ricerca e sviluppo

Misure di resistenza elettrica

Obiettivi. **1)** Le conoscenze e i laboratori del gruppo di Misure elettriche ed elettroniche oltre agli impieghi metrologici tradizionali di mantenimento e disseminazione delle unità, sono sempre più richiesti per attività di ricerca e sviluppo trasversali, come la caratterizzazione di nuovi materiali, nel campo della sensoristica e per la valutazione della sicurezza dei dispositivi e apparati industriali (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). Saranno quindi intensificate le attività volte a sfruttare le *facility* disponibili per attività di ricerca sia all'interno dell'INRIM sia in collaborazione con realtà esterne. **2)** Continuano le attività di progettazione di nuovi campioni di resistenza elettrica in particolare verso i valori > 10 TΩ.

Sviluppo previsto. **1)** Le capacità acquisite campo delle misure di resistenza elettrica continuano ad essere impiegate nell'ambito di attività di ricerca nell'elettromedicale (*Focal Point "Supporting the quality of life and health"*) e in quello della produzione di nuovi polimeri e plastiche polimeriche funzionalizzate. Sono in corso attività di ricerca su proprietà piezoelettriche di polimeri contenenti cellulosa, materiali sui quali sarà fatta una caratterizzazione elettrica estesa in collaborazione con l'istituto IMAMOTER del CNR e il Politecnico di Torino. **2)** Continua la sperimentazione di nuovi campioni elettrici trasportabili per applicazioni metrologiche statiche in laboratorio e come campioni viaggiatori nel trasferimento della riferibilità e per ILC, attività svolta in collaborazione con la *Measurements International* (MI, Canada) (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

Risultati attesi. **1)** Utilizzo di nuovi materiali o materiali funzionalizzati in modo innovativo con costi più contenuti. Pubblicazioni e partecipazioni a congressi. **2)** Realizzazione di nuovi prototipi di campioni di resistenza e prime sperimentazioni in ILC simulati, pubblicazione dei risultati ottenuti.

Campione nazionale di tensione continua

Obiettivi. **1)** Estensione delle capacità metrologiche in tensione continua nelle portate μV e nV . **2)** Miglioramento dei prototipi delle sorgenti di tensione continua a 10 V (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*).

Sviluppo previsto. **1)** Ultimata la fase di progettazione di un nano-divisore automatico di tensione continua a rapporti fissi, si procederà alla realizzazione di prototipi funzionanti in grado di realizzare rapporti decadici da 10:1 a 100:1. Le apparecchiature prodotte saranno caratterizzate per gli impieghi metrologici e confrontate con dispositivi commerciali. **2)** Continua la sperimentazione dedicata alle nuove sorgenti di tensione continua a livello 10 V, attività eseguita in collaborazione con la MI.

Risultati attesi. **1)** Primi esperimenti con prototipi di strumentazione progettata in modo specifico per la misura di piccoli segnali in dc. **2)** Primi risultati derivati dal confronto dei prototipi delle sorgenti di tensione continua con dispositivi commerciali, pubblicazione dei risultati sperimentali.

Alte tensioni e forti correnti

Obiettivi. **1)** Standardizzazione e riferibilità nel campo delle alte tensioni composite e combinate. **2)** Identificazione dei requisiti di resilienza degli APR (Droni) in prossimità di linee elettriche. (*Focal Point "Supporting the quality of life and health", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*).

Sviluppo previsto. **1)** Verranno analizzati i metodi di prova e l'incertezza associata nel campo delle alte tensioni con forme d'onda composite e combinate, con particolare riguardo alla garanzia di riferibilità ed alla standardizzazione (progetto EMPIR HV-com²). **2)** In considerazione della possibilità di utilizzo dei droni per manutenzioni e ispezioni in prossimità di linee elettriche di media ed alta tensione, in aree a rischio in caso di impatto, si andranno a valutare possibili scenari di validazione in presenza di elevati campi elettrici e magnetici in ambienti controllati per garantirne la sicurezza.

Risultati attesi. **1)** Standardizzazione dei metodi di prova e garanzia di riferibilità nel campo delle alte tensioni composite e combinate **2)** Realizzazione di criteri di verifica per i droni.

Attività Ruolo NMI

Area taratura e caratterizzazione di strumentazione multifunzione

Obiettivi. Nel campo delle misure elettriche di alto livello sono stati recentemente introdotti nuovi strumenti con caratteristiche superiori a quelli in uso presso i laboratori metrologici primari e secondari. Questo richiederà **1)** un lavoro di caratterizzazione della strumentazione e **2)** la predisposizione di tecnologie e procedure per effettuare tarature con un livello di precisione adeguato.

Sviluppo previsto. **1)** Acquisizione di nuovi strumenti nella fascia più elevata della strumentazione per misure elettriche che richiedono sviluppo di nuovo software per le tarature e l'impiego. **2)** Sviluppo di nuove procedure tecniche di misura, anche pensate nell'ottica di una riduzione dei punti di misura notevoli per lo snellimento delle operazioni e per il contenimento dei costi.

Risultati attesi. **1)** Il rinnovamento della strumentazione di misura per adeguamento dell'offerta delle capacità di misura alle richieste dei laboratori LAT italiani. **2)** Consolidamento e miglioramento delle attuali capacità metrologiche e miglioramento delle capacità tecniche nell'offerta dei servizi ILC.

Trasferimento ac/dc e taratura misuratori in regime alternato

Obiettivi. **1)** Studio e sperimentazione di dispositivi per la conversione ac/dc da utilizzare in parallelo ai trasferitori termici commerciali. **2)** Revisione dei programmi di gestione delle stazioni di misura e introduzione di apparati per la completa automazione delle misure. **3)** Sviluppo di *software* per gestione sistemi e per l'elaborazione dei risultati.

Sviluppo previsto. **1)** La taratura di strumentazione per la misura delle grandezze alternate si avvale di strumenti commerciali, tipicamente di trasferitori FLUKE 792A. È allo studio la progettazione e realizzazione di prototipi alternativi, con caratteristiche differenti e adatte al trasporto. Tali dispositivi saranno confrontati con strumentazione e metodi di misura consolidati nel corso di misure preliminari. **2)** Sarà sviluppato un sistema che rende completamente automatico il trasferitore FLUKE 792A. Saranno sviluppati nuovi software per la gestione delle apparecchiature di misura, utilizzati sia nel mantenimento delle unità sia per la taratura della strumentazione. Il nuovo software, oltre ad essere adatto agli attuali sistemi operativi, sarà adatto a una nuova condivisione dei dati di misura, per una più semplice archiviazione e per la stesura della certificazione. **3)** Saranno dichiarate nuove CMC per le correnti alternate, basate sulle ultime procedure tecniche approvate.

Risultati attesi. **1)** I nuovi dispositivi per la conversione ac/dc possono semplificare alcuni passaggi delle misure di trasferimento, mentre lo studio di queste tecnologie avrà come sottoprodotto il miglioramento dei sistemi di misura attualmente impiegati. **2)** Il nuovo sistema automatico per il controllo dei trasferitori 792A commerciali migliorerà le risorse impiegate e l'efficienza delle tarature, con una riduzione dei costi e delle risorse umane richieste per le operazioni. **3)** Le nuove capacità di misura dichiarate semplificheranno la certificazione tecnica emessa in conformità agli accordi CIPM MRA.

Campione nazionale di tensione continua

Obiettivi. **1)** Sperimentazione di unità multifunzione, per le grandezze tensione continua e resistenza, nell'utilizzo per ILC e per trasferimento di riferibilità verso laboratori secondari.

Sviluppo previsto. I prototipi di unità di riferimento di grandezze elettriche, sviluppati con la MI, sono impiegati per ILC e come campioni viaggiatori per il trasferimento della riferibilità delle grandezze tensione continua (10 V) e resistenza elettrica (1 Ω e 10 k Ω) verso alcuni laboratori secondari italiani individuati come beta tester. Continua il programma di studio di trasferimento della riferibilità utilizzando una sola unità multifunzione, come campione viaggiatore, in sostituzione di più campioni, come avviene tradizionalmente.

Risultati attesi. **1)** Semplificazione delle procedure di mantenimento e disseminazione delle unità elettriche, con conseguente riduzione di costi e risorse sia a livello metrologico primario, sia per i laboratori secondari.

CMC e ILC

Obiettivi. **1)** Mantenimento e miglioramento delle capacità metrologiche elettriche e di offerta in termini di servizio verso i laboratori secondari.

Sviluppo previsto. **1)** Revisione e aggiornamenti delle CMC elettriche dichiarate, recepimento delle indicazioni ricevute in sede di *peer visit* per il miglioramento dei sistemi di misura e delle capacità metrologiche. Partecipazione a due cicli di confronto internazionali: BIPM.EM-K13 a e b (1 Ω e 10 k Ω) e CCEM-K2.2012.) I laboratori del Settore AE03 saranno coinvolti in attività legate a confronti di misura interlaboratorio (ILC) nell'ambito delle grandezze elettriche a supporto prevalentemente dei centri LAT. **2)** Contestualmente saranno allo studio attività congiunte e collaborazione con altri Settori Scientifici INRiM nell'ambito confronti inter-laboratorio per le grandezze di cui l'INRiM è competente. Studio e introduzione di nuove procedure per la definizione dei valori di riferimento nel corso degli ILC. L'elaborazione sarà uniformata a quella adottata nei cicli di confronto internazionale tra NMI.

Risultati attesi. **1)** L'obbligo di partecipazione continua ai cicli di confronto chiave internazionali impone un continuo miglioramento delle capacità metrologiche, la partecipazione ai due cicli di confronto di resistenza chiave è volta a ridurre le incertezze in corrispondenza dei valori 1 Ω e 10 k Ω , valori notevoli nel campo della taratura della strumentazione multifunzione. **2)** Le novità introdotte e in corso di sperimentazione potranno semplificare le operazioni nell'ambito della verifica di compatibilità tra laboratorio pilota e partecipanti agli ILC rendendole uniformi alle procedure già adottate dagli NMI nei confronti internazionali.

Alte tensioni e forti correnti

Obiettivi. **1)** Miglioramento delle *facilities* di taratura per un allargamento dei servizi di taratura verso la richiesta dell'industria. **2)** Progettazione di prototipi per misure di isolamento elettrico fino a 5 kV.

Sviluppo previsto. **1)** Analisi di fattibilità e valutazione preliminare per la realizzazione di volumi confinati per garantire condizioni ambientali ottimali nelle attività di taratura di sistemi di riferimento per i laboratori di prova o LAT. **2)** Progettazione e realizzazione una rete resistiva riferibile in grado di tarare la strumentazione per la misura

Risultati attesi. **1)** Valutazione preliminare dei requisiti per il miglioramento dei servizi di taratura offerti **2)** Possibilità di estendere la riferibilità delle misure di isolamento ai valori di 5 kV.

Attività Knowledge Transfer

Misure Elettriche ed Elettroniche

Obiettivi. **1)** Miglioramento dell'interazione con l'industria, sia italiana sia straniera, per il trasferimento tecnologico e la produzione su scala industriale di prototipi ed apparati realizzati in istituto. **2)** Incremento della presenza e della visibilità dei laboratori dell'INRiM sul territorio nazionale mediante la partecipazione ad enti, organismi attivi in ambito normativo e corsi tecnici. **3)** Consolidamento della presenza dell'INRiM in comitati tecnici di settore e supporto ad ACCREDIA; **4)** Realizzazione di aree confinate adatte a prove e caratterizzazioni in ambito di generazione rinnovabile e nuove tecnologie sostenibili (*Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*) **5).** Realizzazione di una *facility* per prove termiche di lunga durata **6)** Sviluppo di nuovi sistemi di caratterizzazione e validazione,

Sviluppo previsto. **1)** Trasferimento tecnologico verso aziende in grado di ultimare i processi di ingegnerizzazione e commercializzazione di prototipi progettati all'INRiM. Prosecuzione di un progetto industriale per il trasferimento tecnologico volto alla costruzione di un campione elettrico multifunzione automatizzato appositamente creato per semplificare operazioni di taratura di strumenti per misure elettriche. **2)** Attività di docenza nel campo delle misure elettriche ed elettroniche e incertezze nelle misure industriali. **3)** Partecipazione a comitati tecnici italiani ed europei. **4)** Analisi di fattibilità e valutazione preliminare per la realizzazione di prove con riguardo alle nuove implementazioni per tecnologie pulite (ad esempio e-mobility e generazione rinnovabile), anche mediante la creazione di volumi confinati per garantire condizioni ambientali ottimali o per confinare gli effetti delle verifiche di arco interno necessarie per la validazione di sicurezza delle apparecchiature elettriche verso l'utenza. **5)** Sviluppo di un sistema automatico per la gestione delle prove termiche di lunga durata senza necessità del presidio continuo e garantendo l'agibilità degli spazi per le usuali attività di prova conto terzi mantenendo condizioni di sicurezza e riservatezza. **6)** Sviluppo di un sistema di caratterizzazione e validazione di strumentazioni per la diagnosi predittiva mediante firma elettrica anche con finalità di ottimizzazione energetica delle produzioni.

Risultati attesi. **1)** Ritorni economici e di immagine grazie alla prosecuzione del trasferimento tecnologico verso l'industria. **2-3)** Diffusione della cultura metrologica grazie all'attività di docenza, alla partecipazione attiva nei comitati tecnici italiani ed europei e alla divulgazione. **4)** Valutazione dei requisiti per l'ampliamento ed adeguamento alle richieste industriali dei servizi di prova offerti. **5)** Disponibilità di un'area per prove termiche di lunga durata. **6)** Possibilità di impiego delle tecnologie sviluppate nelle attività di prova della strumentazione per il miglioramento delle informazioni e della qualità del servizio offerto.

TERMODINAMICA FISICA (AE04)



Realizzazione, confronto e disseminazione della Scala di Temperatura Internazionale del 1990 (ITS-90) con tecniche di termometria a radiazione ad elevata temperatura.

Attività Ricerca e sviluppo

Termometria primaria e sviluppo di sensori di temperatura e di metodi termometrici innovativi

Obiettivi. **1)** Realizzazione di esperimenti di termometria primaria con metodi acustici (AGT), a microonde (RIGT) e radiometrici volti a favorire la disseminazione diretta della nuova definizione del kelvin e la revisione della Scala Internazionale di Temperatura (ITS-90), e a valutare la riproducibilità di punti fissi eutettici metallo-carbonio (M-C) (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **2)** Riduzione incertezza ed estensione intervallo di lavoro di campioni di temperatura primari per

la disseminazione del kelvin e della ITS-90 nell'intervallo fra 4 K e 2500 °C. **3)** Sviluppo di sensori di temperatura e metodi di misura della temperatura innovativi per applicazioni di ricerca di base, industriali e biotecnologiche (*Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage", "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions", "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **4)** Studio di metodi di misura dell'omogeneità di termocoppie.

Sviluppo previsto. **1)** Nell'ambito del progetto Real-K (*Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*): i) completamento apparato AGT per misure su intervalli di temperatura criogenici fra 10 K e 273 K, e suo impiego per misure della temperatura termodinamica T e della differenza da T_{90} (approssimazione T su scala ITS-90); misure di $(T-T_{90})$ con metodo RIGT fra 234 K e 430 K; ii) caratterizzazione di effetti dovuti a gradienti termici longitudinali sulla riproducibilità della temperatura di transizione di fase solido/liquido di punti fissi eutettici metallo-carbonio valutazione contributo di incertezza; iii) collaudo apparato AGT per temperature fino a 1000 K. **2)** In termometria a radiazione, fra 962 °C e 2500 °C: studio teorico e sperimentale dell'effetto dovuto all'*out-of-band transmission* dei filtri interferenziali e realizzazione di scale di radianza con termometri campione operanti a diverse lunghezze d'onda (650 nm e 900 nm); a temperature intermedie: realizzazione di due nuove celle di lavoro per il punto di solidificazione del gallio e dell'argento; in criogenia: riqualificazione e aggiornamento dei campioni primari criogenici e realizzazione di nuove celle ai punti fissi. **3)** Nell'ambito del progetto EMPRESS2, sviluppo di nuovi sensori basati su fosfori termosensibili per la misura della temperatura superficiale (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"*); studio della termometria dielettrica basata su risonatori whispering gallery; sviluppo e studio di almeno un termometro quantistico micro- o nano-strutturato (optomeccanico o diamante); collaborazione con Divisione ML per metodi di misura e controllo temperatura di stazioni di carica per veicoli elettrici (EVCS) (*Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"* e Art. 5.1.4 Reti e veicoli green e clean PNR 2021-2027). **4)** Misura profili di temperatura su termocoppie montate in celle dei punti fissi e in bagni termostatici; progetto, realizzazione e verifica prestazioni di un prototipo di cella a tre punti fissi (Cu, Ag, Al) utile per la taratura di termocoppie.

Risultati attesi. **1)** Pubblicazione risultati $(T-T_{90})$ ottenuti con metodo AGT fra 45 K e 273 K e con metodo RIGT fra 234 K e 430 K; valutazione finale ed eventuale pubblicazione del contributo di incertezza della temperatura di transizione di fase dei punti fissi eutettici (M-C). **2)** Riduzione dell'incertezza nella realizzazione della ITS-90 ad elevata temperatura (fino a 2500 °C); pubblicazione risultati ottenuti nella caratterizzazione nuove celle ai punti fissi Ga e Ag; riduzione incertezza e estensione fino a 4 K campioni criogenici. **3)** Il termometro a fibra ottica sviluppato nel progetto EMPRESS2 verrà impiegato in ambito automobilistico su appositi banchi di prova; riduzione incertezza e miglioramento ripetibilità termometri whispering gallery; raccolta di elementi utili alla pianificazione di future attività nello sviluppo e applicazione di sensori di temperatura quantistici. **4)** Pubblicazioni risultati studio omogeneità e termocoppie e realizzazione cella a tre punti fissi.

Igrometria

Obiettivi. Estensione delle attuali capacità di misura tramite l'ampliamento degli intervalli di lavoro in temperatura di rugiada/brina, con la realizzazione di nuovi generatori di gas umido in grado di operare fra -105 °C e 180 °C, in pressione, da valori sub-atmosferici fino a 0.5 MPa, oltre alla differenziazione dei gas di trasporto. Tali capacità costituiscono i presupposti per lo sviluppo di metodi di misura utili per lo studio di parametri di interesse atmosferico e climatico per il monitoraggio ambientale (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"*) e per la riduzione del consumo energetico di processi di manifattura industriale (*Focal Point "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*).

Sviluppo previsto. **1)** Svolgimento delle attività programmate nel progetto EMPIR Call Industry JRP-i02 PROMETH2O "*Metrology for trace water in ultra-pure process gases*", coordinato dall'INRiM, inclusa l'estensione dell'intervallo di lavoro del generatore campione di umidità in tracce fino a -105 °C in temperatura di brina e 500 kPa in pressione, caratterizzazione del generatore campione e dettagliata valutazione delle componenti di incertezza; completamento attività progetti in corso Metrology for the Factory of the Future (Met4FoF) e progetto Regionale Industria 4.0 – (HOME); completamento attività progetto SENSEI – Industria 4.0 (Art. 4.6.3 "Industria intelligente" del PNR 2021-2027). **2)** Misure di pressione di vapore saturo dell'ossido di deuterio (D_2O) e di gas refrigeranti di nuova generazione, nell'intervallo di temperatura da 0 °C a 100 °C.

Risultati attesi. **1)** Pubblicazione dei risultati ottenuti nella caratterizzazione, validazione ed estensione dell'intervallo di lavoro del generatore campione di umidità in tracce; sviluppo di un sistema per la validazione metrologica di uno o più laboratori energetici sviluppati da un partner industriale; sviluppo di un sistema di taratura di sensori di temperatura (anche MEMS) impiegati come sensori di riferimento in sistemi di collaudo automatico (ATE). **2)** pubblicazione misure di pressione di vapore in ossido di deuterio e in gas refrigeranti.

Proprietà termofisiche

Obiettivi. Nell'ambito dei temi di ricerca prioritari individuati nei *Focal Point* "Monitoring the environment and support the development of clean technologies", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage" e nell' Art. 5.2.8 "Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico" del PNR 2021-2027, proseguono le attività di ricerca a supporto dei processi di decarbonizzazione, di approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili e dello stoccaggio di energia a breve e lungo termine. In particolare si implementeranno modelli termodinamici specifici, basati su misure accurate di velocità del suono e densità di fluidi di interesse scientifico e tecnologico (quali ad esempio refrigeranti, carburanti, solventi, acqua deuterata e di mare, aria umida) e la realizzazione di sensori di trasferimento destinati ad essere utilizzati sugli impianti industriali.

Sviluppo previsto. **1)** Misure di velocità del suono e densità di miscele di gas naturale liquefatto (consulenza Snam), anche arricchite di idrogeno. **2)** Misura delle proprietà termodinamiche dei gas refrigeranti (densità, calore specifico e velocità del suono). **3)** Completamento delle misure di velocità del suono in acqua deuterata e marina in stati metastabili. **4)** Realizzazione e collaudo di un prototipo di sensore di densità basato sugli ultrasuoni. **5)** Completamento dello sviluppo di un calorimetro adiabatico modulato adatto alla misura del calore specifico dei fluidi. **6)** Elaborazione di un modello predittivo del valore della velocità del suono in aria umida con incertezza nell'ordine di 100 ppm e confronto con misure di velocità del suono ottenute in condizioni di laboratorio controllate.

Risultati attesi. **1), 2), 3)** Implementazione di modelli termodinamici per gas naturale liquido, per miscele di gas naturale anche arricchite di idrogeno, per carburanti, per fluidi refrigeranti e per altri fluidi di interesse scientifico e tecnologico. Caratterizzazione dei nuovi apparati e sensori in ampi intervalli di temperatura e pressione. **4)** Realizzazione di sensori a ultrasuoni per la misura della densità e della velocità del suono in grado di operare anche quando il fluido di misura è in movimento. **5)** Realizzazione di un apparato di misura del calore specifico per i fluidi. **6)** Pubblicazione modello predittivo velocità del suono in aria umida.

Attività Ruolo NMI

Obiettivi. **1)** Sviluppo delle attività di mantenimento e disseminazione dei campioni nazionali di temperatura e umidità, e di grandezze derivate incluso il flusso termico, attraverso un incremento delle capacità di misura e taratura (CMC) e la riduzione delle incertezze associate. **2)** Promozione e partecipazione a confronti internazionali, anche con ruoli di coordinamento. **3)** Attività di taratura e misura e organizzazione di confronti interlaboratorio (ILC) per conto di terzi. **4)** Partecipazione attiva nei comitati e nei gruppi di lavoro del BIPM e di Euramet.

Sviluppo previsto e risultati attesi.

Termometria

1) Criogenia: costruzione, riempimento e collaudo di tre nuove celle per realizzare i punti fissi criogenici del neon e dell'argon; collaborazione con NIM nell'ambito del Key Comparison CCT-K2.2 e con LNE-CNAM, NRC e TIPC-CAS su confronti inter-laboratorio; stipula di un contratto di fornitura di celle, termometri a capsula e tarature con NIM. **2)** Temperature intermedie: conclusione confronto internazionale CCT K-9 riguardante la taratura di SPRT tra il punto fisso dell'Argon e quello dello Zinco e pubblicazione dei risultati; messa in funzione di un nuovo bagno per il mantenimento del punto triplo dell'acqua in vista della partecipazione al prossimo CCT- CIPM Key Comparison of water triple point cells: CCT-K7.2021; messa in funzione di un nuovo sistema per la realizzazione del punto triplo dell'Argon e confronto con cella campione di riferimento; progettazione di un nuovo forno per la realizzazione dei punti fissi della scala ITS-90 (Zn, Al, Ag); partecipazione ai lavori del gruppo Contact Thermometry (CCT-WG-CTh) e pubblicazione di una revisione aggiornata delle differenze ($T-T_{90}$) ottenute nell'ultimo decennio. **3)** Termometria a radiazione: oltre al metodo tradizionale di realizzazione della STI-90, con metodi radiativi al sopra del punto di solidificazione dell'argento (962 °C), verrà valutato ed eventualmente affiancato anche il nuovo metodo, per interpolazione, tramite l'impiego di punti fissi eutettici metallo-carbonio (M-C); partecipazione ai lavori dei gruppi: Non-Contact Thermometry (CCT-WG-NCTh); Thermophysical Quantities (CCT-TG-ThQ); Body Temperature Measurement (CCT TG-NCTH-BTM) con attività nello studio delle problematiche relative alla radiazione termica ed ai metodi per la misurazione della temperatura senza contatto anche per applicazioni alla misura della temperatura corporea con partecipazione ad un confronto chiave di taratura di termometri a radiazione per la misura della temperatura corporea; entro il 2021, conclusione/chiusura del confronto bilaterale Euramet 1457 (T-S7) con il Tubitak-UME (Turchia), coordinato dall'INRiM, sulla misura dei parametri di influenza per la realizzazione di scale di radianza fra 156 °C e 1100 °C, che ha realizzato due strumenti

campioni di trasferimento sviluppati in proprio. **4)** Termometria industriale per contatto: collaborazione con i Servizi Informatici INRiM per lo sviluppo delle facility necessarie per la produzione di certificati di taratura digitale (DCC) di temperatura (*Focal Point "Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions"* e Art. 4.6.3 "Industria intelligente" del PNR 2021-2027); messa in funzione del punto eutettico Co-C e redazione di una procedura per la taratura di termocoppie a 1324 °C e richiesta della corrispondente CMC; validazione di una nuova cella del punto fisso dell'Ag da utilizzare nel laboratorio di termometria industriale.

Igrometria

1) Conclusione misure per confronto EURAMET.T- K8.1 *Comparison of realizations of local scales of dew-point temperature of humid gas*. **2)** Rilascio risultati confronto EURAMET.T- K8 - *Comparison in high dew-point temperatures*. **3)** Rilascio risultati confronto CCT- K8 - *Comparison of realizations of local scales of dew-point temperature of humid gas*. **4)** Partecipazione confronto EURAMET P1442 *relative humidity from 10 %rh to 95 %rh at temperatures from -10 °C to 50 °C*.

Proprietà termofisiche

1) Avvio delle procedure necessarie a riottenere le CMC per la misura della densità dei liquidi attraverso un confronto bilaterale o trilaterale. **2)** Riattivazione delle CMC e della certificazione delle misure di densità nei liquidi.

Attività Knowledge Transfer

Obiettivi. Il settore sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale e partecipa all'attività di normazione nazionale e internazionale. Organizza e supervisiona confronti interlaboratorio principalmente fra i laboratori accreditati. Fornisce supporto ad ACCREDIA per le attività di accreditamento con ruolo ispettivo; organizza lo svolgimento di corsi di formazione per stakeholder industriali, anche nell'ambito di progetti EMPIR dedicati. Si rende disponibile allo svolgimento di tirocini a vari livelli, anche nei confronti di personale proveniente da paesi emergenti. Promuove lo svolgimento di Dottorati di Ricerca presso le proprie strutture in vista di future opportunità di reclutamento. Fornisce personale docente per corsi di primo e secondo livello attivi presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino.

Sviluppo previsto e risultati attesi

Termometria

1) In seguito alla formalizzata partecipazione dell'INRiM al neo costituito gruppo di lavoro: Body Temperature Measurement (CCT TG-NCTH-BTM) il cui scopo è quello di stabilire una termometria clinica affidabile su base globale e fornire linee guida per l'applicazione pratica delle tecniche di misura proposte/analizzate (*Focal Point "Supporting the quality of life and health"*). In particolare si contribuirà alla stesura dei seguenti documenti: "Explanation on the issue of measuring the human body temperature" e "Best Practice Guide - Use of thermal imagers to perform non-contact screening of human body temperature". Nel medesimo ambito, a livello nazionale, risulta in fase di valutazione la proposta di progetto preparata in collaborazione con l'Università di Torino e con l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale e presentata al bando FISIR-CoViD 2020 dal titolo: "Analisi e Sviluppo di Protocolli di Misura della Temperatura Corporea a Distanza". **2)** È in fase di discussione una possibile collaborazione con il CIRA - Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (www.cira.it) nell'ambito di misure di flusso termico radiativo per elevatissimi valori di irraggiamento (3000 kW/m²) (*Focal Point "Developing technology for space applications and research"*).

Igrometria

Partecipazione agli incontri conclusivi del progetto Met4FoF ed EMPRESS2; organizzazione del *kickoff meeting* del progetto PROMETH2O coordinato dall'INRiM; partecipazione e presentazione al Congresso Internazionale di Metrologia - CIM 2021; organizzazione del seminario sulle misure riferibili in igrometria; attività di docenza universitaria in corsi di laurea magistrale e di dottorato presso il Politecnico di Torino; partecipazione in qualità di delegato italiano al comitato IEC TC65 WG5; attività di *chair* del comitato CEI TC65 WG5; membro della commissione UNI/CT 027 Metrologia; presidenza del comitato scientifico EURAC.

Proprietà termofisiche

1) Formazione del Comitato Nazionale Italiano per le proprietà dell'acqua e del vapore, che prevede il coinvolgimento di istituti di ricerca, industrie e università. Adesione come membro effettivo del Comitato Nazionale all'*International Association for the Properties of Water and Steam* (IAPWS). **2)** Prosecuzione

delle attività di consulenza e supporto verso l'industria del settore energetico, come ENI e Snam. È prevista la stipula di contratti di ricerca e di formazione con le industrie coinvolte nel processo di transizione energetica e "Green Deal" (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies", "Supporting sustainable energy conversion and clean storage"*).

Nel 2021 saranno svolte attività di docenza nei seguenti corsi:

- Politecnico di Torino: corso "*Thermal measurements and controls*" (Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare; cod. 01OHHND).
- Politecnico di Torino: corso "*Thermal measurements and controls*" (Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica; cod. 01OHHQD).
- Politecnico di Torino: corso "*Thermal measurements and controls*" (Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica; cod. 01OHHNE).
- Politecnico di Torino: corso "*Thermal measurement and control methods*" (Dottorato di Ricerca in Metrologia; cod. 02SGMRU).
- Università di Torino: corso di *Acustica* (Laurea Magistrale in Fisica ind. Fisica del Sistema Meteorologico e delle Tecnologie Avanzate), cod. MFN0844 (titolare Prof.ssa Maria Pia Bussa), per un totale di 22 ore di lezioni.

TERMODINAMICA APPLICATA (AE05)



KIT Brevettato di RM per coefficiente di luminanza.

Attività Ricerca e sviluppo

Chimica e analisi statistica associata

Obiettivi. **1)** Sviluppo di modelli e codici per la valutazione di conformità di dati composizionali in applicazioni chimico/ambientali (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"* e Art. 5.2.8 "Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico" del PNR 2021-2027). **2)** Sviluppo di casi studio per la valutazione di incertezza e conformità a specifiche (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies", "Supporting the quality of life and health"*). **3)** Sviluppo della versione 2.0 del software *Calibration Curve Computing (CCC)* (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies", "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **4)** Miglioramento del sistema di preparazione di miscele gassose e sua parziale automazione (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"*). **5)** Preparazione e caratterizzazione di miscele gassose di riferimento per la misura dei rapporti degli isotopi stabili del CO₂ ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$) e miglioramento delle incertezze (Progetto 19ENV05 STELLAR) ((*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"* e Art. 5.2.8 "Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico" del PNR 2021-2027). **6)** Riferibilità e incertezze in misure in ambito marino (parametri chimico/fisici marini, pCO₂) (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"*).

Sviluppo previsto. **1)** Nel progetto IUPAC/CITAC n. 2019-012-1-500 "*Influence of a mass balance constraint on uncertainty of test results of a substance or material and risks in its conformity assessment*", si

affineranno i modelli probabilistici (Bayesiani) e le tecniche di simulazione (Monte Carlo) per la valutazione di conformità di dati composizionali. **2)** Valutazione di incertezze delle *Electrical Properties Tomography* - EPT di un *phantom* (soluzione omogenea) da RMN e valutazione di conformità per concentrazione di particolato atmosferico (17NRM05 EMUE). **3)** Sviluppo della versione eseguibile del CCC v2.0 e sua validazione. **4)** Il sistema di preparazione di miscele gravimetriche verrà migliorato con automazione del sistema per le pesate di precisione (comparatore di massa). Inoltre sarà terminata la validazione della stazione per la preparazione di miscele mediante diluizione dinamica e sarà predisposto un *software* di gestione dedicato. **5)** Preparazione di materiali di riferimento gassosi per le misure di rapporti isotopici del CO₂ e miglioramento del sistema di misura mediante spettrometro FTIR. **6)** Partecipazione al progetto INFRAIA "MINKE", con attività di ricerca sulla riferibilità metrologica delle misure di pCO₂ in acqua di mare (in collaborazione con OGS) e partecipazione al JPI Oceans.

Risultati attesi. **1)** Sviluppo di esempi applicativi, pubblicazioni su rivista, presentazioni a congresso, preparazione e pubblicazione di una relativa Guida IUPAC/CITAC. **2)** Pubblicazione dei report e dei relativi codici di calcolo sulla pagina del progetto EMUE nella piattaforma Zenodo; pubblicazione di un Compendio degli esempi EMUE sul sito del progetto. **3)** Pubblicazione della versione eseguibile del CCC v2.0 sul sito INRiM. **4)** Presentazione a congresso dei risultati ottenuti nell'ambito delle misure di rapporti isotopici del CO₂. **5)** Partecipazione a *workshop* internazionale sulle tematiche delle misure di pCO₂. **6)** Pubblicazione risultati delle attività sulla riferibilità delle misure di pCO₂

Meteorologia e climatologia

Obiettivi. (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"* e Art. 5.2.8 "Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico" del PNR 2021-2027)

1) Supporto alla climatologia nella valutazione di serie storiche e record di temperatura. **2)** Miglioramento delle tecniche di misura negli studi di aree polari (Artico) glaciali, periglaciali e in grotta. **3)** Realizzazione di un test site per il "Surface Reference Network" del *Global Climate Observing System* (GCOS) delle Nazioni Unite. **4)** Valutazione performance di radiosonde per misura di parametri atmosferici termo-fluidodinamici. **5)** Miglioramento delle procedure di taratura per sensori atmosferici (anche *Focal Point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research"*). **6)** Partecipazione al progetto INFRAIA H2020 - "MINKE" su analisi incertezze e fattori di influenza in misure di grandezze fisiche.

Sviluppo previsto. **1)** Si svilupperanno raccomandazioni WMO basate sulle tecniche sperimentate con successo nella validazione dei record di temperatura atmosferica in Kuwait e Pakistan. Si svolgeranno campagne di taratura presso osservatori storici, riconosciuti dal "WMO mechanism to recognize centennial observing stations". Possibili candidati: Osservatorio di Piacenza, Regio Osservatorio di Moncalieri. **2)** i) Continuazione progetto EMPIR 19SIP06 COAT, collegato al *parent project* ENV58 MeteoMet2. Il progetto prevede un'intercomparaison da realizzarsi in Artico, in collaborazione con INRiM e ISAC-CNR, di termometri e schermi radiativi per la misura della temperatura dell'aria (Conclusione nel 2023). ii) Prosecuzione progetto RIST 2, coordinato da CNR-IRPI in collaborazione con INRiM, sullo studio dell'ambiente periglaciale del bacino della Bessanese in termini interazione fra temperature dell'aria e della roccia, radiazione solare e proprietà termomeccaniche di rocce e ghiaccio. iii) Prosecuzione progetto *Metrology for Caves*, in collaborazione con il Politecnico di Torino e il Club Alpino Italiano, sul monitoraggio delle temperature e dell'ambiente nel sito delle Grotte di Bossea. iv) Prosecuzione della collaborazione con ARPA Piemonte sulle tarature di sensori permafrost in ambito alpino. v) Proseguimento attività presso la stazione artica "Dirigibile Italia – ISP-CNR" per l'implementazione del laboratorio comune di metrologia precedentemente avviato a Ny-Ålesund. **3)** Continuazione progetto 19SIP03 CRS "Climate Reference Station", collegato al *parent project* ENV58 MeteoMet2, coordinato da INRiM. Il progetto prevede la progettazione, installazione e caratterizzazione di una stazione di riferimento per la climatologia da realizzarsi in collaborazione con il Comune di Torino e Società Meteorologica Italiana. **4)** conclusione delle procedure di analisi dati sulla comparazione delle performance delle radiosonde, in collaborazione con CNR-IMAA. **5)** i) Prosecuzione e conclusione progetto 03NRM18 INCIPIT, coordinato da INRiM, sui metodi di taratura dei pluviometri "non-catching". ii) Studio di un algoritmo migliorato di interpolazione della Callendar-Van Dusen per la taratura dei sensori Pt100 atmosferici. iii) Partecipazione al progetto "Complete" (Polito) con validazione dei sensori innovativi per miniradiosonde. **6)** Co-responsabilità del WP2 del progetto INFRAIA H2020 - "MINKE".

Risultati attesi. **1)** Produzione di linee guida per la validazione metrologica di record climatici da inviare al WMO o sotto forma di IOM report. **2)** i) Il progetto COAT porterà ad un miglioramento della conoscenza del comportamento di sensori meteorologici e schermi associati in ambiente artico. ii) La collaborazione al progetto RIST 2 porterà alla pubblicazione di un articolo scientifico sulla frequenza di frane in relazione alla temperatura di rocce e ambiente circostante, misurate tramite sensori accuratamente tarati in INRiM; un secondo articolo, riguardante le proprietà termomeccaniche delle rocce periglaciali, è in previsione. iii) Il progetto di monitoraggio delle proprietà termiche degli ambienti ipogei continuerà e potrà portare alla

pubblicazione di un lavoro a rivista sui benefici delle tarature dei sensori utilizzati. iv) La collaborazione con ARPA Piemonte sulle misure di permafrost porterà all'invio per la pubblicazione a rivista di due articoli scientifici, riguardanti il sistema di taratura ideato da INRiM e le sue performances applicate ai profili di temperatura misurata del suolo. v) Estensione delle capacità di taratura in loco di termometri anche per misure in suolo e ghiaccio. Nuove campagne di taratura presso la “*Climate Change Tower*” di Nu-Ålesund; pubblicazione di almeno un articolo su rivista. **3)** È prevista la realizzazione di una stazione di riferimento per la climatologia, che verrà utilizzata per studiarne la configurazione e i migliori metodi per l'utilizzo e la taratura di strumenti in funzione delle esigenze climatologiche. Pubblicazione di un articolo in collaborazione con WMO. **4)** È previsto l'invio di due articoli scientifici sulla comparazione metrologica delle performance delle radiosonde Vaisala RS41 e RS92, uno in camera climatica e l'altro in tunnel a vento EDDIE. **5)** i) Il progetto INCIPIT porterà alla miglior conoscenza delle performance e delle limitazioni dei pluviometri non-catching, e alla redazione di best practices e metodi per la loro taratura. È previsto l'invio per la pubblicazione in rivista di un articolo di review sugli attuali sistemi utilizzati come pluviometro non-catching. ii) Lo studio porterà ad un miglioramento delle tecniche matematiche utilizzate attualmente per l'interpolazione dei risultati della taratura di sensori atmosferici, in particolare nel dominio delle temperature inferiori a 0 °C. Possibilità di invio di un articolo scientifico a rivista. iii) Realizzazione di procedura specifica per la taratura di “miniradiosonde” nell'ambito del progetto “Complete”. Lanci sperimentali, valutazione incertezze e pubblicazione dei risultati su rivista. **6)** Progetto INFRAIA – MINKE: produzione di raccomandazioni per l'analisi incertezze e inclusione fattori di influenza in misure di grandezze fisiche.

Termometria termodinamica per contatto

Obiettivi. **1)** Prosecuzione e conclusione del progetto “Realk” su utilizzo di “*Gas-Controlled Heat Pipes*” WP3. **2)** Prosecuzione e conclusione del progetto H2020 “Midas” in collaborazione con il Politecnico di Torino. Caratterizzazione e incertezze di sensori innovativi e compatti per velivoli.

Sviluppo previsto. **1)** Realk: Raccolta termometri HTSPRT da partecipanti e avvio del nuovo *gas controlled heat pipe* al sodio. Misure della non-uniqueness di tipo 3 dei sensori HTSPRT a temperature comprese tra 660 e 960 °C. **2)** MIDAS: caratterizzazione di sensori di temperatura e pressione in camera climatica con controllo di pressione e tunnel a vento, integrando il sistema di lettura *Compact air data probe* sviluppato dai partner.

Risultati attesi. **1)** Messa in funzione nuovo *gas controlled heat pipe* al sodio, per temperature tra 660 °C e 960 °C (Al – Ag). Analisi della non-uniqueness di tipo 3 dei sensori HTSPRT a temperature comprese tra 660 e 960 °C. **2)** Report relativo allo studio eseguito sui sensori sviluppati nel progetto MIDAS per la condivisione e discussione dei risultati ottenuti con i partner del progetto.

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Obiettivi. **1)** Miglioramento delle tecniche di caratterizzazione dei materiali per applicazioni Smart-Cities, IoT, ambientali e per i beni culturali (*Focal Point “Monitoring the environment and support the development of clean technologies”, “Supporting sustainable energy conversion and clean storage”, “Supporting the quality of life and health”, “Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions”*). **2)** (FP4) Definizione e implementazione di metodologie di caratterizzazione di sensori digitali in campo radiativo esteso per applicazioni anche in ambito *automotive* e la mappatura diffusa (*Focal Point “Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions”*). **3)** Definizione e miglioramento delle tecniche di caratterizzazione delle proprietà radiative materiali e sorgenti anche per applicazioni medicali tra cui la protesica avanzata (*Focal Point “Supporting the quality of life and health”, “Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions”*).

Sviluppo previsto. **1)** Implementazione e miglioramento caratterizzazione dei materiali, volte anche per all'ottimizzazione dei consumi energetici, valutazione delle proprietà radiative e applicazioni Smart-lighting e Smart-city. Implementazione Materiali di Riferimento (MR) IoT per la caratterizzazione proprietà ottiche anche nell'ambito obiettivo 2. Integrazione con Digital Metrology e Open Data Science. Prosecuzione collaborazioni con Unito per lo sviluppo di metodiche di analisi avanzata e non invasive per i beni culturali. **2)** Definizione e sviluppo grandezze e metodi di misura per la definizione di proprietà e indici prestazionali e qualitativi di sensori digitali e camere. Possibile progetto per Metrologia distribuita in campo ADAS e AV, **3)** Definizione di protocolli di caratterizzazione e valutazione per l'integrazione tra proprietà percepite e le caratteristiche radiometriche. Possibile sviluppo Progetto FISIR sulla misurazione temperatura corporea. Possibile progetto PRIN con CIR Dental School sull'integrazione percettiva della protesica avanzata. Prosecuzione collaborazione con Unito nello studio dell'impatto dell'esposizione a sorgenti radiative sui sistemi biologici.

Risultati attesi. **1)** Applicazioni di tecnologie IoT (stampa 3D) per la realizzazione di MR; implementazione dei MR per applicazioni industriali e automotive anche nell'ambito della caratterizzazione di indici prestazionali dei sensori; possibile estensione internazionale brevetti industriali MR IoT; pubblicazione di 1

articoli sull'impatto della metrologia nello sviluppo automotive di sistemi avanzati ADAS e AV. **2)** Operatività laboratorio di *Advanced Aesthetics* nell'ambito del progetto INFRA-P di Unito e avvio attività di ricerca.

Attività Ruolo NMI

Chimica e analisi statistica associata

Obiettivi. **1)** Preparazione di miscele gassose di CO₂ a livello ambiente per via gravimetrica e loro studio di stabilità in vista della dichiarazione di CMC per la produzione di materiali di riferimento gassosi (*Focal Point "Monitoring the environment and support the development of clean technologies"* e Art. 5.2.8 Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico del PNR 2021-2027). **2)** Partecipazione a confronti internazionali di misura nel settore dell'analisi di gas. **3)** Partecipazione attiva nelle organizzazioni metrologiche europee ed internazionali e in network internazionali. **4)** Supporto in *peer review* e accreditamento di altri NMI.

Sviluppo previsto. **1)** Validazione delle procedure per richiesta di CMC per la preparazione di miscele gassose primarie binarie o multicomponenti di inquinanti gassosi. **2)** Contributo alla redazione del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018 riguardante la misura di NO₂ a livello urbano. **3)** Rappresentanza nei comitati metrologici europei e internazionali (*Contact Person* nel TC-MC di EURAMET e nel *Subcommittee on Gas Analysis*, membro del *Task Group on strategy*; membro eletto dello *Steering Committee* della EMN MATHMET e persona di contatto per la EMN Climate and Ocean observations; *Contact person* nel GAWG del CCQM), in organizzazioni internazionali ed europee (*Chair* di IMEKO TC-8 "Traceability in metrology", *membership* in CITAC "Cooperation on International Traceability in analytical Chemistry", delegato nazionale di Eurachem e partecipazione nei gruppi di lavoro Eurachem/CITAC WG on Measurement Uncertainty and Traceability, Eurachem/CITAC WG on Reference Materials, Eurachem WG on Qualitative Analysis); **4)** Attività di ispettore tecnico in *peer review* e accreditamento di altri NMI.

Risultati attesi. **1)** Dichiarazione di CMC per la produzione di miscele gassose primarie di CO₂ a concentrazione atmosferica. **2)** Pubblicazione del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018. **3)** Svolgimento delle attività entro i comitati; revisione delle guida Eurachem/CITAC "Use of uncertainty information in compliance assessment"; nell'ambito del progetto di rete "Measurement uncertainty training - MATHMET EMN project idea to improve quality, efficiency and dissemination" (INRiM Impact WP leader), si condurrà una survey di corsi, software ed esempi disponibili sulla valutazione dell'incertezza, si parteciperà alla produzione di un video sull'uso del fattore *k* di copertura ed all'organizzazione di uno *skills workshop*, e si svolgeranno le attività d'impatto per il progetto; Revisione della Guida Eurachem/CITAC "The Selection and use of Reference Materials". **4)** Esame documentale e visite ispettive presso NMI stranieri.

Meteorologia e climatologia

Obiettivi. Mantenimento e rafforzamento di attività, incarichi, partecipazioni e *chairmanship* in corso nei rilevanti network e TC EURAMET, nei comitati CIPM e negli *expert team* WMO, sia in rappresentanza della comunità metrologica sia con ruolo di delegato nazionale.

Sviluppo previsto. *Chairmanship Working Group Environment* del CCT – CIPM; Partecipazione WG Strategy del CCT – CIPM; Partecipazione all'EMN "Climate and Ocean Observations"; *Chairmanship Expert Team "Measurement Uncertainties"* del WMOSC-MINT INFCOMM; *Chair-Rapporteur on Climate and reference stations – Commission of Climatology* – WMO; Partecipazione Expert team "Quality, Traceability and Calibration" del WMOSC-MINT INFCOMM; Partecipazione al GCOS Surface Reference Network; Partecipazione al TC-T Euramet; Partecipazione al GRUAN in qualità di rappresentante metrologico; Partecipazione al "Tavolo Artico" del MAECI in qualità di esperto; Partecipazione al tavolo nazionale "Copernicus".

Risultati attesi. Svolgimento *task* nei diversi comitati tecnici. Preparazione report nei diversi comitati tecnici. Mantenimento del ruolo di delegato nazionale presso WMO: *Contributi all'Annex 1* della nuova Guida n. 8 WMO "Operational measurement uncertainty requirements and instrument performance requirements" e "implementing the internationally approved definitions on measurement uncertainty, published by BIPM (VIM)"; "mechanisms for ensuring consistency between the Annex of the CIMO Guide and OSCAR/Requirements database, in the future"; *Develop guidance on requirements and criteria for developing and sustaining reference observing networks (Special focus on climate change aspects)*; *Liaise with the WMO Secretariat*. Proseguimento della *chairmanship* e dei lavori del *working Group Environment* del CCT-BIPM; partecipazione ai lavori del *Working Group "Strategy"* del CCT. Co-*chairmanship* della "International Surface Temperature Initiative". Inclusione della metrologia nel documento di "Strategia per l'Artico" del MAECI

Termometria termodinamica per contatto

Sviluppo previsto. Prosecuzione e conclusione del coordinamento del progetto EURAMET 1459 "ATM Air Temperature Metrology" per la produzione di una linea guida per la taratura di termometri in aria. Conclusione loop del ILC (INRiM Pilot) avvio analisi dati.

Risultati attesi. Produzione guida EURAMET (con possibile condivisione con altre RMO) per taratura per termometri per temperatura dell'aria tra -40 °C e 60 °C

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Mantenimento e rafforzamento di attività, incarichi, partecipazioni e *chairmanship* in corso nei rilevanti network.

Sviluppo previsto. Partecipazione TG-BTM *Body temperature Measurement*;

Risultati attesi. Svolgimento *task* specifici.

Attività Knowledge Transfer

Obiettivi. **1)** Massimizzare l'impatto tecnologico e scientifico dei progetti in corso. **2)** Ampliare la portata della scienza termodinamica a sforzi multidisciplinari in cui le grandezze chimiche e le proprietà dei materiali giocano un ruolo chiave. **3)** Sviluppare sensori, strumenti e metodologie innovativi adatti a trasferire le tarature e associate incertezze dal laboratorio al sito, alle applicazioni intelligenti. **4)** Contribuire a comprendere, modellare, valutare e ridurre le incertezze nei campi applicati delle proprietà fisico-chimiche. **5)** Affrontare le esigenze di ricerca degli stakeholder scientifici e industriali nelle misurazioni della termodinamica chimica, la riferibilità per le osservazioni oceaniche, la scienza atmosferica e l'evoluzione climatica. **6)** Partecipazione attiva nei comitati normatori.

Chimica e analisi statistica associata

Sviluppo previsto. **1)** Contributi a workshop nazionali e internazionali. **2)** Corsi di formazione per studenti di dottorato, stage di formazione. **3)** Rappresentanza in enti normatori (*Chair* UNI/CT 016/GL 69 "Applicazioni dei metodi statistici"; ISO/TC 69/SC 6/ WG 7 "Statistical methods to support measurement uncertainty evaluation").

Risultati attesi. **1)** Co-chair del Workshop ENBIS/MATHMET "Mathematical and Statistical Methods for Metrology" (MSMM), 31/5-1/6/2021 (INRiM e Politecnico di Torino organizzatori); presentazione sulla valutazione di conformità secondo il JCGM 106:2012 (EMUE workshop a Mar. 2021); *Membership* del *Scientific e Technical Committee del 2021 International Metrology Congress* – CIM 2021 e presentazione di un contributo sull'analisi di gas. **2)** Insegnamento del corso "The evaluation of uncertainty in measurement" del dottorato di Metrologia (a.a. 2020-2021). **3)** Svolgimento delle attività specifiche entro i comitati.

Meteorologia e climatologia

Sviluppo previsto. **1)** Contributi a workshop nazionali e internazionali. **2)** Corsi di formazione per studenti di dottorato, stage di formazione per visiting scientists. **3)** Secondment presso University of Svalbard.

Risultati attesi. **1)** Organizzazione della conferenza internazionale 4th *Metrology for Meteorology and Climate* (MMC) a Exeter (UK). *Chair* IPC; *Webinar "Waiting for MMC"* Ottobre 2021; *Membership* del *Scientific e Technical Committee del 2021 International Metrology Congress* – CIM 2021. **2)** Formazione per RMG02 e RMG03 nell'ambito del progetto 18NRM03 INCIPIT. **3)** Organizzazione V Arctic Metrology Workshop PRESSO Longyearbyen (Svalbard). *Chair*

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Obiettivi. **1)** Massimizzare l'impatto tecnologico e scientifico dei progetti in corso. **2)** Sviluppare metodologie di caratterizzazione innovative adatti a specifiche applicazioni Smart e IoT anche per la definizione di proprietà qualitative di prodotti coerentemente con le esigenze di ricerca degli *stakeholder* scientifici e industriali. **3)** Migliorare le interazioni con Polito e Unito nell'ambito delle Smart City, IoT e caratterizzazioni materiali e sorgenti e loro interazioni con i sistemi biologici. **4)** Proseguire negli studi su condizioni di caratterizzazione e conservazione beni culturali, geometria differenziale per la percezione (Bordeaux - Unito) e caratterizzazione avanzata di materiali protesici. **5)** Contribuire alla conservazione e valorizzazione dei beni culturali. **6)** Mantenimento e rafforzamento di attività, incarichi, partecipazioni e *chairmanship* in corso nei rilevanti network e enti normatori

Sviluppo previsto. **1)** Rafforzare le collaborazioni in ambito di ricerca con le università, le aziende e la Curia Metropolitana. **2)** Contributi a workshop nazionali e internazionali e attività di divulgazione. **3)** Responsabilità laboratorio *Advanced Aesthetics* presso CIR Dental School. **4)** *Technical Secretary* CIE TC4-50;

Partecipazione allo CIE JTC 12; *Liaison officer* CIE- ISO TC22-SC35; Partecipazione allo IGC TC10 *Optical properties*; Partecipazione allo IEEE P2020 *Automotive Image Quality*; Partecipazione UNI CT023; Partecipazione UNI CT023-GL5; Partecipazione UNI CT014; Partecipazione CUNA ISO/TC 22/SC 35 - ISO/TC 22/SC 39.

Risultati attesi. **1)** Docenza in corsi universitari – Ottica e Optometria; Tutoraggio stage e tesi di laurea; Laboratorio di fotometria e percezione presso il corso di laurea in ottica e optometria; Corsi di formazione per studenti di dottorato; Stage di formazione in ambito Marie Curie per dottorato internazionale Tech4C; Referente per l'illuminazione e conservazione nella commissione tecnica diocesana per la conservazione della Sindone di Torino **2)** Attività laboratorio di *Advanced Aesthetics* con possibile estensione capacità di misura in ambito prove accreditate. **3)** Disseminazione di software per la valutazione incertezza di misura. **4)** Svolgimento *task* nei diversi comitati tecnici, WG, TC. Pubblicazione nuovi documenti normativi e revisioni documenti in essere.

c. Fonti di finanziamento

Metrologia della massa e delle grandezze apparentate

Attività di servizi Conto Terzi (tarature, prove, ILC): 350 k€/anno

Attività di supporto ad ACCREDIA: 37 k€/anno

NOTA: Queste entrate non sono al momento redistribuite. Poiché le attività di Conto Terzi (tarature, prove, ILC, ecc..) necessitano di laboratori attrezzati e funzionanti, senza un adeguato finanziamento per le spese di funzionamento, investimento e di personale, queste attività sono destinate inevitabilmente a ridursi e, ancora più grave, verrebbero messe a rischio le attività istituzionali di mantenimento e miglioramento dei campioni delle unità afferenti alla Divisione.

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Progetti EMPIR

- EMPIR 19RPT02 RealMass (50 k€)
- EMPIR 18SIB04 Quantum Pascal (140 k€, collaborazione AE01-AE02)
- EMPIR 18SIB08 ComTraForce (184 k€)

Contratti industriali

- STMicroelectronics - È stata avviata un'attività esplorativa per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche elementi elastici di MEMS, in condizioni di campo elettrico costante.
- Contratto industriale LTF (20 k€)

Altri progetti:

- Progetto PRIN 2017 (Prot. 2017T8SBH9) (99 k€ di cui 24 k€ cofinanziamento)
- ACCREDIA (progetto EMPIR EMUE, 5 k€)

Metrologia della lunghezza

Attività di servizi Conto Terzi (tarature, prove, ILC): 100 k€/anno

Attività di supporto ad ACCREDIA: 6,5 k€/anno

NOTA: Queste entrate non sono al momento redistribuite. Poiché le attività di Conto Terzi (tarature, prove, ILC, ecc..) necessitano di laboratori attrezzati e funzionanti, senza un adeguato finanziamento per le spese di funzionamento, investimento e di personale, queste attività sono destinate inevitabilmente a ridursi e, ancora più grave, verrebbero messe a rischio le attività istituzionali di mantenimento e miglioramento dei campioni delle unità afferenti alla Divisione.

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Progetti EMPIR

- EMPIR 20IND TracOptics (140 k€)
- EMPIR 19ENG07 Met4Wind (120 k€)
- EMPIR 18SIB01 GeoMetre (123 k€, collaborazione AE02-AE04)
- EMPIR 18RPT01 ProbeTrace (12 k)
- EMPIR 17IND03 LaVA, Large Volume Metrology Applications (164 k€)
- EMPIR 17NRM03 EUCoM, Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry (40 k€)

Contratti industriali

- Thales – LAME (9 k€)

- Thales – NGGM-PoC (37 k€)
- Thales – JUICE (49 k€)
- EICAS – ASTRA (35 k€)
- EICAS – VIR (28 k€)

Contratti ESA

- LISA fase A (15 k€)
- LIG-A (in collaborazione con la Divisione ML)
- ARTES-ATOM (400 k€, proposto)

Altri contratti

- Contratto di consulenza con PoliTO (10 k€)

Altri progetti:

- POR/FESR 2014-20 Reg. Piemonte – Industria 4.0 – HOME (5 k€)
- Cont_COXI 2019 (185 k€)
- Progetto grandi investimenti per la realizzazione del kg e del K secondo il nuovo SI (190 k€ in AE02)

Misure elettriche ed elettroniche

Attività di servizi Conto Terzi (tarature, prove, ILC): 458 k€/anno

Attività di supporto ad ACCREDIA: 32 k€/anno

NOTA: Queste entrate non sono al momento redistribuite. Poiché le attività di Conto Terzi (tarature, prove, ILC, ecc..) necessitano di laboratori attrezzati e funzionanti, senza un adeguato finanziamento per le spese di funzionamento, investimento e di personale, queste attività sono destinate inevitabilmente a ridursi e, ancora più grave, verrebbero messe a rischio le attività istituzionali di mantenimento e miglioramento dei campioni delle unità afferenti alla Divisione.

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Progetti EMPIR

- EMPIR 19NRM07 HV-COM² (71 k€)

Contratti industriali

- Contratto industriale IAM 2 . (216 k€)
- Contratto industriale MI. (royalties)

Termodinamica Fisica

Attività di servizi Conto Terzi (tarature, prove, ILC): 265 k€/anno

Attività di supporto ad ACCREDIA: 31 k€/anno

NOTA: Queste entrate non sono al momento redistribuite. Poiché le attività di Conto Terzi (tarature, prove, ILC, ecc..) necessitano di laboratori attrezzati e funzionanti, senza un adeguato finanziamento per le spese di funzionamento, investimento e di personale, queste attività sono destinate inevitabilmente a ridursi e, ancora più grave, verrebbero messe a rischio le attività istituzionali di mantenimento e miglioramento dei campioni delle unità afferenti alla Divisione.

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Progetti EMPIR

- EMPIR 20IND02 Metrology for trace water in ultra-pure process gases - PROMETH2O (360 k€)
- EMPIR 20IND27 Metrology for decarbonisation of the gas grid - Decarb (180 k€)
- EMPIR 18SIB02 - Real-K (130 k€ collaborazione AE04-AE05)
- EMPIR 17IND12 Metrology for the Factory of the Future – Met4FoF (60 k€ collaborazione AE04-AE02)
- EMPIR 17IND04 - EMPRESS2 (24 k€)
- EMPIR 16ENG03 - LNG3 (10 k€)

Contratti industriali

- TUV ITALIA (30 k€) caratterizzazione camere climatiche
- Snam Rete Gas (50 k€) consulenza valutazione misure in-situ densità gas naturale (prevista attivazione entro 2020)

Altri contratti

- National Institute of Metrology (China) (50 k€) per taratura di termometri a capsula, fornitura sensori e celle punto fisso (prevista attivazione nel 2021)

Altri progetti:

- Progetto premiale SENSEI – Industria 4.0 (110 k€)
- Progetto grandi investimenti per la realizzazione del kg e del K secondo il nuovo SI (190 k€ in AE04)

Termodinamica applicata

Attività di supporto ad ACCREDIA: 8,5 k€/anno

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Progetti EMPIR

- EMPIR 19ENV05 “STELLAR” (100 k€)
- EMPIR 19SIP03 “CRS” (50 k€)
- EMPIR 19SIP06 COAT (25 k€)
- EMPIR 18NRM03 “INCIPIT” (62 k€)
- EMPIR 17NRM05 EMUE (40 k€)
- EMPIR 16ENV06 “SIRS” (10 k€)
- EMPIR 16NRM02 SURFACE (70 k€)

Altri progetti EU

- EU project 101008724 – MINKE (186 k€)
- H2020 “MIDAS” (100 k€)
- H2020 “C3S Lot 3” (5 k€ fondi missione)

Contratti

- Contratto ASPI (8,5 k€)
- Contratto ANAS mezzo mobile (10 k€)

Altri progetti:

- IUPAC/CITAC Project n. 2019-012-1-500 (1 k€)
- Progetto IDEAL – Innovative Digital Dentistry (100 k€) (in collaborazione con UNITO)

Divisione “Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)”

Data Inizio: 01-01-2021

Data Fine: 31-12-2023

La Divisione di Metrologia Quantistica e Nanotecnologie si concentra sulla mutua applicazione tra la metrologia e temi quali la fisica atomica e molecolare, la fotonica, l'elettronica quantistica, i dispositivi quantistici e le misure quantistiche, con aspetti di applicazione in ambiti a forte impatto scientifico e sociale.

a. Finalità e Obiettivi

La Divisione QN è organizzata in 5 settori scientifici omogenei: Chimica Fisica e Nanotecnologie (CFN); Elettronica Quantistica (QE); Fotometria e Radiometria (FR); Ottica Quantistica (QO); Tempo e Frequenza (TF).

Il settore **Chimica Fisica e Nanotecnologie (CFN)** studia le proprietà di materiali nanostrutturati e i metodi di misura e certificazione in ambiente biotecnologico e in particolare per la metrologia alimentare. L'applicazione delle ricerche svolte ha particolare impatto sulla società, dato il tema agroalimentare; è altresì interessante che questa disciplina beneficia dell'uso di sofisticate tecniche legata alla fisica delle interazioni tra atomi e fotoni, alle tecniche di spettroscopia ottica, magnetica e nucleare, e all'uso delle nanotecnologie, in particolare le nanoparticelle.

Il settore **Elettronica Quantistica (QE)** realizza le unità di misura della resistenza e della tensione elettrica tramite gli effetti quantistici di Hall e di Josephson, le unità della potenza e della capacità elettrica e presidia le misure di conversione da correnti e tensioni continue ad alternate. Esplora le applicazioni del grafene e di singoli fotoni a microonda come frontiera della metrologia elettrica. Questi due ultimi aspetti hanno un impatto sia sui campioni che su tecnologie di computer, come la realizzazione dei computer quantistici.

Il settore di **Fotometria e Radiometria (FR)** realizza il campione primario d'intensità luminosa e cura le grandezze collegate. Svolge ricerche innovative per migliorare il campione applicando le tecnologie quantistiche della rivelazione a singolo fotone. Quest'ultima, oltre alla possibilità di realizzazione quantistica dell'unità di misura, e la rivoluzione industriale portata dalle sorgenti a stato solido stanno cambiando sempre più il settore.

Il settore di **Ottica Quantistica (QO)** svolge ricerche su misura imaging quantistici, sorgenti a singolo fotone basate per esempio su nanodiamanti e applicazione delle proprietà di singolo fotone alla crittografia quantistica, con un approccio metrologico attento alla standardizzazione dei dispositivi crittografici. In particolare, il tema di certificazione di componenti e dispositivi saranno fondamentali per trasferire al mondo produttivo le migliori pratiche di laboratorio.

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

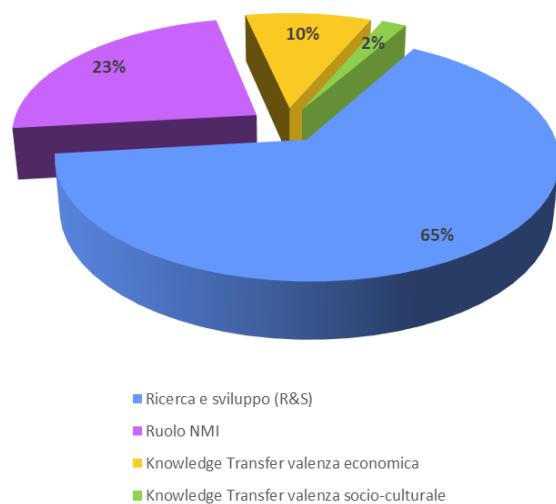
Ha realizzato e mantiene una dorsale in fibra ottica per le tecnologie quantistiche e la disseminazione avanzata dei segnali degli orologi atomici.

La Divisione coordina e infrastrutture di ricerca dei progetti Impresa (tecnologie per la metrologia e la sicurezza alimentare, QN1) e Piquet (tecnologie quantistiche e nanofabbricazione, QN5), progetti dell'INRiM parte delle linee strategiche della Regione Piemonte per l'infrastrutturazione di ricerca e il trasferimento tecnologico al tessuto produttivo, finanziati attraverso fondi europei nel FESR 2014-2020. La Divisione sviluppa i propri piani di attività in linea con i programmi di ricerca metrologici europei (EMPIR) e con il Piano Nazionale della Ricerca nei temi di pertinenza. Partecipa inoltre attivamente alle seguenti reti metrologiche europee (European Metrology Network - EMN), anche in collaborazione con le altre Divisioni: coordina a livello europeo l'EMN on Quantum Technologies (QN4) e propone come coordinatrice l'EMN on Food Metrology (QN1).

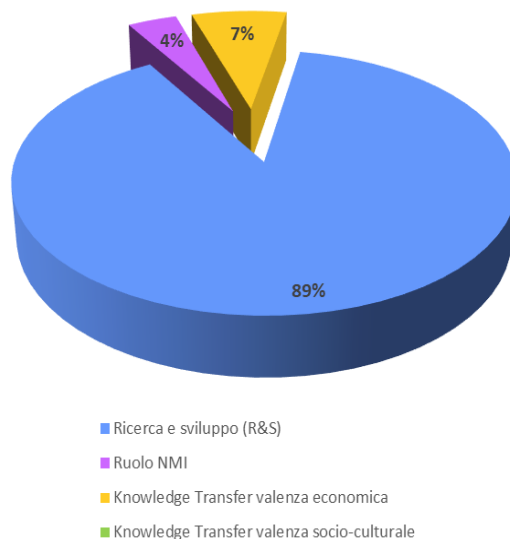
Distribuzione dei mesi-persona 2020 nei Settori della Divisione "Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)".

Risorse umane	Mesi/persona (m/p)	m/p in %
Chimica Fisica e Nanotecnologie (QN01)	108	12
Elettronica quantistica (QN02)	138	15
Fotometria e radiometria (QN03)	107	11
Ottica quantistica (QN04)	171	18
Tempo e frequenza (QN05)	413,4	44
Totale	937,4	100

I due grafici successivi riportano l'impegno del personale nella Divisione per tipologia di attività, distinguendo tra personale strutturato (TI e TD) e non strutturato (assegnisti, personale in formazione e associati).



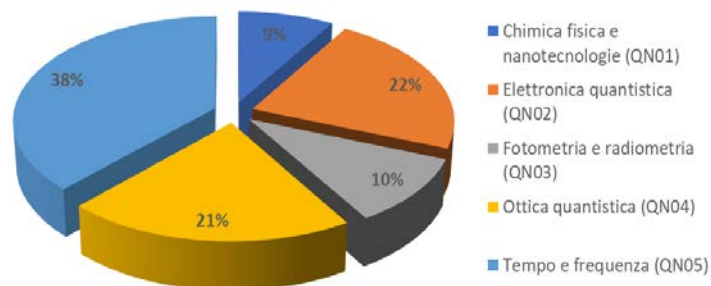
Distribuzione percentuale dei mesi-persona (strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.



Distribuzione percentuale dei mesi-persona (non strutturati) nella Divisione, per tipologia di attività.

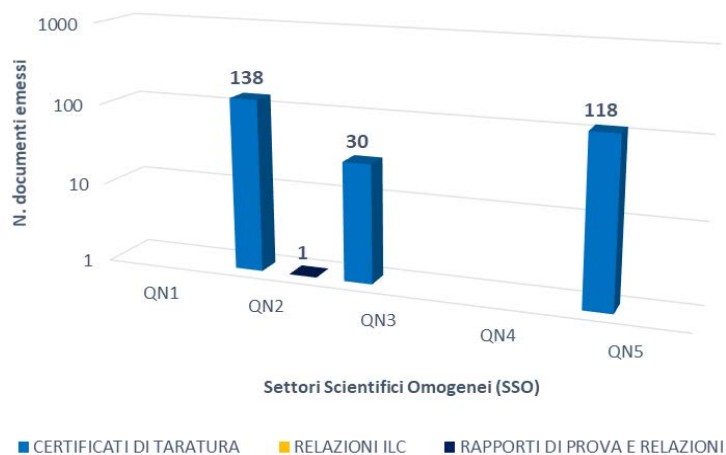
Pubblicazioni su rivista indicizzata 2020

I ricercatori della Divisione QN sono fortemente impegnati nell'attività di ricerca e nella sua pubblicazione su rivista internazionale con peer review. Il grafico mostra che tutti i settori sono attivi in questo aspetto della professione e le differenze tra settori sono riconducibili a variazioni anno su anno e al numero dei ricercatori coinvolti nel settore. In generale la produzione si attesta su circa 1 pubblicazione per ricercatore per anno, con relativa stabilità nel corso degli anni.



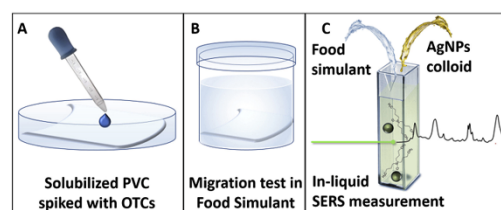
Servizi conto terzi 2020

La distribuzione dei servizi conto terzi mostrata nel grafico evidenzia una contribuzione predominante di due settori, QN2 "Elettronica quantistica" e QN5 "Tempo e Frequenza", con un moderato apporto di QN3 "Fotometria e Radiometria". La Divisione fornisce servizi di taratura sia verso l'esterno, sia verso i laboratori dell'INRiM.



b. Contenuto Tecnico Scientifico

CHIMICA FISICA E NANOTECNOLOGIE (QN01)



Attività Ricerca e sviluppo

Tutte le attività di Ricerca e Sviluppo (Biosicurezza, Nanotecnologie per la metrologia alimentare, Materiali o Oggetti a Contatto Alimentare) sono allineate con il focal point “Improving the quality and impact of fundamental scientific research” del documento di vision decennale dell’INRiM. In riferimento al Piano Nazionale della Ricerca 2021-2027, le attività previste trovano naturale collocazione nell’ambito di ricerca e innovazione “TECNOLOGIE SOSTENIBILI, AGROALIMENTARE, RISORSE, NATURALI E AMBIENTALI” ed in particolare nei seguenti ambiti tematici: Sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti, Autenticità e integrità del sistema alimentare.

Biosicurezza

Obiettivi. Questo tema di ricerca ha l’obiettivo di realizzare una facility per la crescita e manipolazione di microorganismi di Classe 2 al fine di i) studiare la resistenza a varie tipologie di agenti antimicrobici, ii) rilevare la presenza di microorganismi e farmaci in matrici alimentari, iii) studiare nano-materiali e/o prodotti naturali con proprietà antibatteriche per packaging alimentare iv) sviluppare dei sistemi di misura innovativi (per esempio tramite l’accoppiamento della spettroscopia Raman con la dielettroforesi) per l’identificazione e la quantificazione di virus e batteri in sospensione, e studiarne l’interazione con agenti antivirali e antibatterici.

Sviluppo previsto. All’interno del laboratorio di Classe II si intendono sviluppare metodiche di analisi per la caratterizzazione di microorganismi, antimicrobici e la loro interazione mediante Spettroscopia Raman e di Surface Enhanced Raman Scattering (SERS). In particolare si analizzeranno batteri di classe 2 esposti a varie tipologie di biocidi per valutarne in termini qualitativi e quantitativi la loro penetrazione all’interno dei batteri selezionati. Tali metodi verranno anche applicati all’identificazione e quantificazione di microorganismi e antibiotici in matrici alimentari e nelle acque.

Risultati attesi. Messa a punto delle norme ISO 22196:2011 per le misure delle proprietà antibatteriche. Messa a punto di metodi per la quantificazione delle proprietà antiossidanti di materiali e composti di origine naturale

Nanotecnologie per la metrologia alimentare

Obiettivi. Questa ricerca ha l’obiettivo di sviluppare tecniche di analisi per gli alimenti e per i materiali destinati al contatto con gli alimenti, basate su oggetti nanometrici. Si intende fabbricare nanoparticelle d’oro e d’argento e di utilizzarle per aumentare il segnale Raman nella rilevazione in campo di eventuali

contaminanti alimentari (per esempio pesticidi e micotossine) o per lo studio di matrici alimentari liquide (es vino o olio). Un secondo ambito è la fabbricazione di sonde per Scanning Probe Microscopy plasmonicamente attive da accoppiare alla tecnica Raman per ottenere una caratterizzazione sia morfologica sia chimica con risoluzione nanometrica di biomolecole per l'analisi degli elementi (per esempio caratterizzazione di proteine).

Sviluppo previsto. Utilizzo di metodi di analisi di screening, che consentano le analisi direttamente in campo per un immediato controllo, mediante tecniche spettroscopiche quali infrarosso e Raman (SERS e TERS). Le potenzialità di queste tecniche saranno valutate. Un campo di applicazione riguarda lo sviluppo di sensori capaci di determinare l'anidride solforosa libera e combinata nel vino.

Risultati attesi. Sviluppo di metodi per analisi nel campo dei pesticidi alimentari; determinazione del contenuto di anidride solforosa nei vini; sviluppo di tecniche di analisi proteica (dal punto di vista qualitativo e quantitativo) in matrici alimentari.

Materiali o Oggetti a Contatto Alimentare

Obiettivi. La ricerca riguarderà lo sviluppo di sistemi di misura per la caratterizzazione della superficie dei materiali per l'imballaggio a diretto contatto con gli alimenti e lo sviluppo di metodi e tecniche di analisi per la quantificazione degli agenti attivi (nanoparticelle o molecole naturali) che possono migrare dall'imballaggio al cibo.

Sviluppo previsto. Messa a punto di metodi per la rilevazione di NIAS (Non Intentionally Added Substances) in materie prime (per esempio granuli di Low Density PolyEthylene) e prodotti finiti; misura dell'invecchiamento/deterioramento di prodotti alimentari (per esempio gli oli EVO) in funzione dell'imballaggio alimentare; sviluppo di sistemi modello e materiali di riferimento per gli imballaggi alimentari attivi e quantificazione delle loro proprietà antiossidanti e antimicrobiche; studi di migrazione di nanoparticelle dagli imballaggi ai simulanti alimentari e alle matrici alimentari.

Risultati attesi. Sviluppo di un approccio metrologico per la caratterizzazione degli imballaggi alimentari, e interazione con stakeholder industriali (attivi nella produzione di materiali per l'imballaggio degli alimenti o di alimenti) interessati all'innovazione e alla verifica della qualità dei loro prodotti.

Attività Ruolo NMI

Metrologia Raman

Obiettivi. Sviluppo della tecnica di Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) mediante la quantificazione dell'effetto di amplificazione in configurazione AFM e STM. Sviluppo di un metodo d'analisi con riferibilità alle unità del SI. Partecipazione ai confronti interlaboratorio nell'ambito del Surface Analysis Working Group (SAWG) del CCQM. Partecipazione a confronti interlaboratorio per la taratura di spettrometri Raman confocali attraverso materiali di riferimento.

Partecipazione a confronti interlaboratorio in ambito pre-normativo VAMAS per la caratterizzazione del numero di layers e il grado di disordine in flake di grafene. L'attività è prevista nell'ambito del progetto 19NRM04 ISO-G-Scope.

Sviluppo previsto. Mediante l'uso di monostrati auto assemblati di molecole Raman attive e la fabbricazione di punte metalliche di dimensione controllata, si valuterà, l'intensità dell'effetto plasmonico del segnale Raman. Per la definizione della risoluzione laterale di spettrometri Raman si utilizzeranno nanofili InAs prodotti dall'NPL.

Si porterà avanti l'attività di normazione all'interno del comitato UNI per proporre la tecnica Raman come metodo di identificazione e quantificazione dei differenti polimorfismi di NPs di TiO₂.

Risultati attesi. Partecipazione ai confronti Vamas. Presentazione NWIP al comitato ISO sulla proposta di un metodo per l'identificazione e la quantificazione delle diverse fasi del TiO₂. Partecipazione confronto VAAMAS TWA 42 per la quantificazione della risoluzione laterale.

Analisi per Attivazione Neutronica

Obiettivi. Sviluppo di metodi analitici basati sull'AAN (Analisi per Attivazione Neutronica) per la caratterizzazione certificazione e studi di provenienza di alimenti e materie prime utilizzate nella nutrizione umana ed animale. Sarà quindi possibile la determinazione della frazione di massa di elementi presenti come componenti principali o in tracce, nutrienti e tossici.

Sviluppo previsto. Verranno creati nuovi metodi specifici per le singole matrici in analisi per la quantificazione di elementi maggiori ed in tracce, in particolare di terre rare, per caratterizzazione discriminazione e studi di provenienza di campioni alimentari. I risultati analitici verranno poi trattati con metodi chemiometrici in particolare l'analisi multivariata cercando la miglior sinergia possibile tra tecnica

analitica ed analisi matematica. I metodi analitici verranno inoltre applicati nei prossimi confronti di misura internazionali in ambito CCQM a sostegno delle CMC

Risultati attesi. Applicazione dei metodi analitici sviluppati all'analisi di matrici di origine alimentare e per la partecipazione a confronti internazionali quali, ad esempio, il prossimo confronto in ambito CCQM "Arsenic Species and Elements in Seafood of Aquatic Animals"

Contaminanti alimentari

Obiettivi. 1) Sviluppo del metodo di analisi dell'anidride solforosa (SO₂) nel vino secondo il metodo ufficiale dell'Organization of Vine and Wine (OIV). 2) Sviluppo di un sistema di misura di riferimento per la determinazione dell'ocratossina nel vino.

Sviluppo previsto. 1) Verrà effettuata una valutazione dell'incertezza della misura della SO₂ libera e combinata nel vino per stabilire la riferibilità alle unità SI. 2) Verrà effettuata una valutazione dell'incertezza della misura dell'ocratossina in una matrice alimentare utilizzando la strumentazione a disposizione con il progetto IMPreSA in vista della partecipazione al confronto internazionale del CCQM.

Risultati attesi. Partecipazione al confronto internazionale Track C, CCQM-K154.e sulla determinazione dell'ocratossina in una matrice alimentare.

Metrologia alimentare EMN

Obiettivi. L'obiettivo generale della proposta è quello di sviluppare una rete metrologica europea (EMN) tra la comunità metrologica, gli enti regolatori, i laboratori di riferimento europei e l'industria alimentare che sia dedicata alla salute, alla qualità e alla autenticità degli alimenti. Questa rete europea servirà a coordinare il lavoro di armonizzazione delle misure e delle procedure di riferimento utilizzate per verificare che il cibo fornito sia sicuro. L'obiettivo principale della rete è quello di essere di supporto ai laboratori di riferimento attraverso lo sviluppo di capacità di misura e di materiali di riferimento certificati nell'ambito alimentare. La rete europea per la salute del cibo si concentrerà non solo sugli alimenti destinati al consumo umano, ma anche sui mangimi, migliorando così la salute e il benessere degli animali.

Sviluppo previsto. Effettuare un'attività di coordinamento per costruire una visione comune e affrontare a livello europeo le sfide principali e più urgenti sulla qualità e sicurezza alimentare, per migliorare l'affidabilità delle misure lungo tutti i passaggi della catena alimentare e supportare la relativa legislazione.

Risultati attesi. Realizzazione dell'EMN sulla sicurezza alimentare.

Attività Knowledge Transfer

Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPResA)

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

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

Risultati attesi. Avvio della associazione temporanea di scopo (ATS), con IZSTO, CREA, ISPA, IPSP.

Installazione e collaudo della nuova strumentazione (dall'avvio della gara di appalto al collaudo).

Inaugurazione dell'infrastruttura.

Avvio di collaborazioni scientifiche e servizi per l'industria.

Progetto scuole

Obiettivo. Il Settore partecipa al progetto Scuole, promosso dal Presidente, che ha l'obiettivo di divulgare la metrologia a studenti e personale scolastico nelle scuole superiori.

Sviluppo previsto. L'attività prevede due linee di contenuti e modalità di intervento: approfondimento del SI su singole tematiche, da pubblicare come eventi singoli e stabilire un percorso di interventi cadenzato, da ottobre al 20 maggio (WMD). Si prevede poi di riproporre l'attività anche a livello universitario, con contenuti adeguati.

Risultati attesi. Produzione di contenuti specifici sulla scienza della misura che siano fruibili digitalmente da parte di studenti e insegnanti della scuola secondaria di secondo grado. Analoga iniziativa si potrebbe poi

riproporre anche a livello universitario, con contenuti adeguati; altra platea potrebbe essere quella dei dottorandi in metrologia e in materie scientifiche.

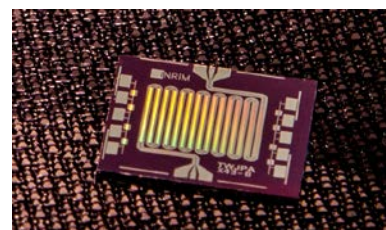
Network europeo sulla sicurezza alimentare

Obiettivo. Creazione di un network metrologico europeo sulla sicurezza alimentare. Il progetto EMPIR Food-MetNet avrà lo scopo di supportare e gettare le basi del nascente network

Sviluppo previsto. Coinvolgimento degli organismi di regolamentazione, degli EURL e degli NRL che si occupano del sistema europeo di controllo alimentare, dell'industria, dei produttori e dei rivenditori di prodotti alimentari in modo da creare sinergie con la comunità metrologica. Sviluppare una piattaforma online liberamente accessibile per aumentare il trasferimento di conoscenze e la diffusione delle attività metrologiche nel settore dell'analisi della sicurezza alimentare a EURL, NRL, laboratori di controllo fino agli utenti finali, in modo che possano trovare facilmente servizi per analisi di riferimento, accesso ai materiali di riferimento, SOP e di tutte le attività svolte dalla metrologia alimentare in sinergia con METROFOOD.

Risultati attesi. Stabilire un dialogo e un collegamento regolare e costruttivo tra il progetto Food-MetNet e le parti interessate nei settori della metrologia della sicurezza alimentare, comprese le principali enti quali; l'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA), EURL e NRL, l'Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC) e organismi di normazione. Ciò dovrebbe includere non solo la promozione dei rapporti esistenti, ma anche la promozione di nuove collaborazioni e l'identificazione delle esigenze delle parti interessate. Garantire una risposta efficace nel settore della metrologia della sicurezza alimentare è fondamentale per dare una sola voce all'Europa in questo campo.

ELETTRONICA QUANTISTICA (QN02)



Amplificatore parametrico superconduttivo a onda viaggiante basato su giunzioni Josephson.

Attività Ricerca e sviluppo

Caratterizzazione di dispositivi e sistemi

Obiettivi. a) Caratterizzazione elettrica di dispositivi in grafene. b) Progetto 18SIB07 GIQS: collaborazione con NIST, PTB e KRISS per la modellizzazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi e circuiti integrati per effetto Hall quantistico in grafene. Sviluppo di sistemi di misura innovativi. c) caratterizzazione di materiali micro e nanostrutturati e di dispositivi elettronici quantistici in temperatura e campo magnetico.

Sviluppo previsto. a) Estensione del metodo alla caratterizzazione di materiali nanostrutturati (reti di nanofili). b) Modellazione di dispositivi e circuiti integrati in grafene e GaAs per applicazioni dc e ac. c) Caratterizzazione di dispositivi superconduttivi in temperatura e campo magnetico.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRim 2020-2030 *Improving the quality and impact of fundamental scientific research.*

Realizzazione quantistica del farad nel nuovo SI

Obiettivi. Progetto 18SIB07 GIQS: Misure di dispositivi per effetto Hall quantistico in regime alternato ed esperimenti di trasferimento ohm-farad con ponte digitale. Progetto EURAMET #1501 *Technical assessment of novel impedance bridges* (INRim, PTB).

Sviluppo previsto. Esperimenti QHE in regime alternato con campioni GaAs. Secondment EMPIR 18SIB07-RMG1 di un assegnista di ricerca al PTB.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde

Obiettivi. a) Progetto EMPIR 17FUN10 Parawave: modellazione e realizzazione di dispositivi per la manipolazione di singoli fotoni a microonda. Implementazione di una piattaforma criogenica per la caratterizzazione a microonda di amplificatori a banda larga (cosiddetti a travelling-wave o TWJPA) ed a banda stretta (risuonatori) basati sull'effetto Josephson. b) in collaborazione con il Settore QN04, progetto FET-Open SuperGalax si eseguirà uno studio di fattibilità per la realizzazione di una sorgente di singolo fotone heralded nel range delle microonde. c) Progetto DartWars: realizzazione di amplificatori parametrici superconduttivi al limite quantistico e ad ampia banda nel regime delle microonde per il read-out in multiplexing di sensori e rivelatori di interesse per la fisica fondamentale.

Sviluppo previsto. a) Allestimento del setup criogenico (sistema dry con $T < 20$ mK, $B \leq 10$ T e linee per misure fino a 20 GHz) per le misure di guadagno, temperatura di rumore e correlazione in metamateriali Josephson. Misure preliminari nel range 1- 20 GHz per validare la piattaforma. Caratterizzazione dei TWJPAs sviluppati in INRiM presso NPL (Secondment con RMG di studente di dottorato, 4 mesi) e Lancaster University. Progettazione di sistemi di adattamento di impedenza per l'accoppiamento di TWJPA con rf-SET e rf-SQUID. b) Modellizzazione delle sorgenti di rumore e dimensionamento della componentistica commerciale accoppiata al chip contenente il metamateriale Josephson. Verifica sperimentale presso INFN-LNF e successivamente presso INRiM dell'entanglement in quadratura tra signal e idler in condizione di three-wave mixing stimolato; Verifica del circuito di trigger della sorgente heralded. d) Dimostrazione di amplificazione ad ampia banda nel range 1-20 GHz e verifica della temperatura di rumore in uscita all'amplificatore sotto il limite quantistico. Accoppiamento in multiplexing con array di cavità RF per la rivelazione di assioni cosmici, qubits e sfere di YIG.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRiM 2020-2030 *Improving the quality and impact of fundamental scientific research*.

Elettronica singolare per la realizzazione pratica dell'ampere

Obiettivi. Dispositivi mesoscopici e setup di misura criogenico per la manipolazione e la rilevazione di cariche elettriche elementari.

Sviluppo previsto. Misure criogeniche in DC ed in frequenza (fino a 30 MHz) su dispositivi per il pompaggio di singoli elettroni realizzati in INRiM (SEPumps e SQUISETs). Allestimento e test del setup per la valutazione dell'accuratezza di pompaggio.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Potenza ed energia elettrica nel nuovo SI

Obiettivi. 19RPT01 QuantumPower "Quantum traceability for AC power meter standards".

Sviluppo previsto. Implementazione di un sistema di switching coassiale per confronto di campionatori con campione quantistico di tensione alternata. Studio di fattibilità di derivatori per corrente alternata a larga banda.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Attività Ruolo NMI

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

Sono in corso di preparazione per il triennio i confronti internazionali CCEM.RF-Kxc.CL, EURAMET-EM-K4, EURAMET-EM-K13, EURAMET-EM-K12. Per questi ultimi due è in corso di realizzazione di scala di resistenza con comparatore criogenico. INRiM ha partecipato nel 2020 al confronto EURAMET-EM-K5, si attende Draft A.

Campione nazionale quantistico di tensione elettrica

Sviluppo previsto. Progetto di acquisizione di sistema PJVS per generazione e misura di tensioni continue e alternate sino al kHz, anche in vista dell'assunzione di un'unità di personale 3RIC TI (concorso QN02 2020).

Risultati attesi. Attività preparatorie al ripristino della capacità di realizzazione dell'unità di tensione elettrica nel nuovo SI e di riferibilità del campione nazionale di tensione elettrica.

Unità e scale di impedenza elettrica

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

Risultati attesi. Validazione di un ponte digitale per il confronto di impedenze a quattro coppie di terminali completamente automatico e accessibile da remoto, per confronto con il campione nazionale di resistenza elettrica, induttanza e capacità elettrica.

Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala

Sviluppo previsto. Messa in servizio del nuovo sistema di taratura per correnti nel campo 2 nA - 5 uA con amplificatore a transresistenza (Ultrastable low-noise current amplifier, ULCA). Taratura di picoamperometri per misure fotometriche e radiometriche.

Risultati attesi. Dichiarazione nuove CMC per la corrente continua nel range 10 fA - 5 uA.

Metrologia per RF&MW

Sviluppo previsto. Introduzione nuovo metodo per la riferibilità del sistema di misura di parametri S in conformità con EURAMET CG-12 e relativo aggiornamento delle procedure; verifica delle CMC attualmente in vigore. Verifica della possibilità di riattivazione del campione di potenza. Preparazione al confronto CCEM.RF-Kxc.CL.

Risultati attesi. Revisione CMC, conferma metrologica positiva del banco di misura Parametri-S, procedure in accordo con Guida EURAMET cg-12.

Metrologia delle forti correnti

Sviluppo previsto. Sviluppo di capacità di taratura di sensori per forti correnti.

Risultati attesi. Procedure di taratura e dichiarazione di CMC per la taratura di sensori di corrente continua DCCT.

Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato

Sviluppo previsto. Partecipazione al confronto EURAMET.EM-K5 *Key comparison of 50/60 Hz electric power*. Consolidamento della scala di tensione in regime alternato. Estensione scala corrente AC fino a 100 μ A.

Risultati attesi. Validazione del campione di tensione in regime alternato con campioni viaggiatori (PTB). Draft A del confronto EURAMET.EM-K5

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRiM 2020-2030 *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*.

Convenzione INRiM-MISE contatori di energia (in collaborazione con AE)

Sviluppo previsto. Convenzione INRiM-MISE per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori.

Risultati attesi. Allestimento strutturale; installazione della strumentazione; sviluppo dei metodi e disseminazione.

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRiM 2020-2030 *Supporting sustainable energy conversion and clean storage*.

Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico

Sviluppo previsto. Realizzazione del campione e della scala di resistenza elettrica in regime continuo con incertezza base di parti in 10^9 .

Risultati attesi. Consolidamento della realizzazione di una scala di resistenza, con il confronto, a temperatura controllata, di resistori campione nel range 1 Ω - 12906 Ω .

Struttura di riferibilità delle unità elettromagnetiche

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

Risultati attesi. Proseguimento del servizio.

Internazionalizzazione in ambito CCEM e EURAMET TC-EM

Sviluppo previsto. EURAMET: Alternate to the General Assembly (2018-). EURAMET TC-EM Working Group on Strategic Planning (2019-2022). CCEM: Delegate (2017-), Working group on Regional Metrology Organizations (2019-2022). CPEM Executive Committee, member-at-large (2019-2022).

Risultati attesi. Partecipazione a CCEM 2021, EURAMET TC e SC meetings 2021.

Supporto a normazione, regolamentazione, metrologia legale

Sviluppo previsto. a) Convenzione con il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) "Collaborazione per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori." b) Draft Technical Specifications per la caratterizzazione elettrica del grafene al Technical Committee IEC TC/113.

Risultati attesi. a) Allestimento strutturale, acquisizione personale, identificazione condizioni di verifica in regime non distorto. b) Evoluzione dello status dei documenti normativi nell'ambito IEC e CEI TC/113 sulla misura della conducibilità elettrica del grafene

Capacity Building

Sviluppo previsto. a) Progetto 17RPT04 VersICaL (2018-2021): virtual lab per la metrologia dell'impedenza elettrica e training di Istituti Metrologici Primari europei. b) Progetto 19RPT01 QuantumPower (2020-2023) "Quantum traceability for AC power meter standards": implementazione setup sperimentale

Risultati attesi. a) Virtualizzazione del laboratorio di metrologia dell'impedenza e training dei partner del progetto 17RPT04. Secondment di un ricercatore PTB (3 mesi). b) Mutuo training dei laboratori coinvolti.

Certificazione tecnica e accreditamento

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

Risultati attesi. Soddisfazione ruolo NMI, autofinanziamento.

Attività Knowledge transfer

Formazione in metrologia

Sviluppo previsto. a) Secondment di ricercatori internazionali. b) Dottorato in Metrologia, Politecnico di Torino, partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato. c) Tutoring di studenti. d) Knowledge transfer nell'ambito della convenzione INRiM-MISE.

Tra il 2021 e il 2022 saranno svolte attività di docenza nei seguenti corsi:

- UniRoma 2 Tor Vergata: corso di III livello "*The revision of the international system of units*"; per un totale di 5 ore di docenza.
- Politecnico di Torino: corso di III livello "*The measurement of electrical impedance*", cod. 01QSXRU, per un totale di 10 ore docenza.
- Politecnico di Torino: corso di III livello "*Fundamentals of metrology*", cod. 01RRCRU, per un totale di 4 ore docenza (titolare del corso Dott. Filippo Levi).

Diffusione del nuovo Sistema Internazionale e della cultura metrologica

Sviluppo previsto. Conferenze e seminari didattici per il pubblico e le scuole, interviste sui media, pubblicazioni divulgative, incontri con le scuole. Conferenze, interventi, seminari, interviste per i media.

FOTOMETRIA E RADIOMETRIA (QN03)



Transition-Edge Sensor (TES).

Attività Ricerca e sviluppo

L'attività di ricerca e sviluppo di questo settore si articola su cinque tematiche allineate al focal point "Improving the quality and impact of fundamental scientific research" del documento di vision decennale dell'INRiM.

Rivelatori di singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo di sensori superconduttivi a transizione di fase (TES) ad alta risoluzione energetica.

Sviluppo previsto. Realizzazione di dispositivi superconduttivi TES a bassa capacità termica e capacità di discriminare il numero di fotoni dall'UV al NIR per la metrologia del singolo fotone. Sperimentazione della possibilità di estendere l'applicazione dei TES alla rivelazione di singoli elettroni per applicazioni alla fisica delle particelle (Progetto PTOLEMY) ed alla spettroscopia elettronica (progetto QDCuBe - SRT f13). Realizzazione di TES basati su nanowire per estendere la possibilità di rivelatore singoli fotoni nel campo delle microonde (Progetto SIMP). Sviluppo di un TES con area maggiore di $2000 \mu\text{m}^2$ per l'applicazione in un haloscope per la ricerca di *dark photon*.

Risultati attesi. Miglioramento del setup sperimentale, basato sul criostato ADR, per la rivelazione di singoli fotoni, con riduzione del rumore da interferenze elettromagnetiche. Dimostrazione della possibilità di ottenere conteggi di singolo fotone con risoluzione energetica inferiore a 0.1 eV. Caratterizzazione di TES basati su nanowire con temperature di transizione sotto i 100mK.

Fotorivelatori predicibili (PQED)

Obiettivi. Ellissometria deposizioni di SiO_2 , Al_2O_3 , SiNx ; Modellizzazione rivelatori predicibili e validazione come campione primario; funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico del PQED (EMRP ChipScale), equivalenza ottica/elettrica.

Sviluppo previsto. Ingegnerizzazione del sistema di readout temperatura nel modo di funzionamento duale fotoelettrico-radiometrico; verifica dei risultati per confronto con PQED e radiometro criogenico.

Risultati attesi. Riduzione della riflettività esterna struttura a trappola, su tutto il visibile; miglioramento della risoluzione di lettura di temperatura e compensazione effetti sistematici dovuti a scambi termici con l'ambiente. Validazione per confronto con radiometro criogenico e PQED.

Fotometria classica e quantistica

Obiettivi. Realizzazione ghost imaging plenottico.

Sviluppo previsto. Unione delle tecniche di ghost imaging e di imaging plenottico per la ricostruzione ghost di un oggetto fuori dal piano focale.

Risultati attesi. Simulazione del setup di imaging plenottico per la scelta di parametri del campo ottimizzati, ricostruzione ghost di un oggetto su due piani focali tramite tecnica plenottica.

Volt quantistico

Obiettivi. Setup in cryocooler per la generazione di segnali di tensione variabile che realizzano la definizione SI per mezzo dell'effetto Josephson con dispositivi di tipo programmabile e impulsato. Miglioramento della criogenia He-free di dispositivi superconduttivi per il quantum volt. Apparato per la polarizzazione ottica di dispositivi impulsati.

Sviluppo previsto. Migliore riferibilità SI per tensioni variabili. Controllo on chip della temperatura dei dispositivi superconduttivi. Incremento della banda dei segnali di bias ottici in un chip impulsato.

Risultati attesi. Quantum Volt per l'elettronica digitale (Progetto DIGAC). Alta stabilità della temperatura di lavoro di un dispositivo a superconduttore. Prototipo di interfaccia ottica He-free per la polarizzazione in rf dei dispositivi impulsati.

Radiometria a singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo di setup per caratterizzazione metrologica di parametri di sorgenti e rivelatori a singolo fotone Si SPAD (850nm), InGaAs-InP SPAD (1550nm), SNSPD e microonde.

Sviluppo previsto. Realizzazione di setup ottimizzati per misura dell'efficienza quantica di rivelatori Si SPAD, InGaAs-InP SPAD e SNSPD e sviluppo di un Optical Time Domain Reflectometer OTDR a singolo fotone a 1550nm e a 1300 nm portatile. Studio setup per rivelazione di coppie di fotoni a microonda e calcolo emissione di coppie di fotoni entangled in amplificatore parametrico basato su giunzioni Josephson.

Risultati attesi. Mappatura dell'efficienza quantica dello SPAD al variare della posizione sul sensore, realizzazione di setup per misure con incertezza ridotta; taratura componenti e realizzazione nell'OTDR; realizzazione schema di misura di correlazione tra fotoni a microonda e studio teorico.

Attività Ruolo NMI

La realizzazione e disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali, con partecipazione ai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR, infine lo sviluppo della riferibilità del volt, fanno parte dei compiti NMI della Divisione. Le CMC vengono supportate dai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR; nel triennio sono previsti la Key-comparison Euramet K3.2020 sull'intensità luminosa, il completamento della Key-comparison Euramet K6.2018 sulla trasmissione in filtri neutri; nell'ambito della riferibilità di misure a singolo fotone partecipiamo al confronto pilota CCPR sulla misura di efficienza di rivelatori singolo fotone (SPAD) nel visibile (850 nm, free space) (CCPR WG SP - Pilot study on the detection efficiency of single-photon detectors – Si-SPAD (850nm)) e nel vicino infrarosso (1550 nm, fibre coupled). Al completamento della key-comparison CCPR K2b.2016 (sensibilità spettrale 300-1000 nm), in cascata partirà l'organizzazione della corrispondente comparison in ambito Euramet dove INRiM e CMI condivideranno il ruolo di laboratori pilota. Nell'ambito della disseminazione delle grandezze radiometriche e fotometriche si avvierà un processo di revisione della struttura della catena metrologica di disseminazione al fine di introdurre il fotorivelatore calcolabile PQED fra i campioni primari, trasferire al vicino infrarosso le capacità di misura (per mezzo di rivelatore piroelettrico), estendere le CMC all'irradiazione spettrale (storicamente mancante nella catena metrologica di fotometria e radiometria) e strategica per fornire servizi di misura spettroradiometrici, infine, rivedere la disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche a supporto delle sorgenti luminose a LED.

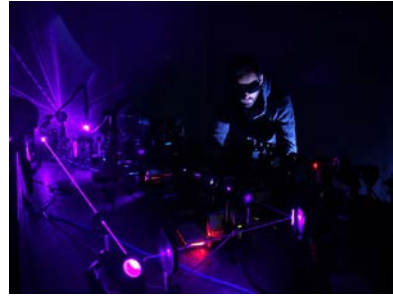
Attività Knowledge Transfer

Supporto alla formazione universitaria e diffusione delle conoscenze tecnologiche e scientifiche sulla misura della radiazione ottica e dei campioni quantistici superconduttivi.

Normazione: supporto a CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) e al comitato nazionale NC CIE Italia, Divisione 2 - Physical Measurement of Light and Radiation, per lo studio di procedure tecniche e normative per la misura di radiazione ultravioletta, visibile e infrarossa, proprietà ottiche dei materiali e sorgenti luminose; per lo studio delle proprietà ottiche e prestazioni dei fotorivelatori e dei dispositivi necessari alla loro valutazione.

Accreditamento laboratori di taratura supporto ad ACCREDIA: ispettori tecnici ed esperti per le grandezze fotometriche e radiometriche (intensità luminosa, luminanza, sensibilità spettrale)

OTTICA QUANTISTICA (QN04)



Un Ricercatore INRiM impegnato nella realizzazione di un banco ottico per misure, che oltrepassano i limiti classici grazie alle proprietà quantistiche della luce.

Attività Ricerca e sviluppo

Generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana

Obiettivi. Sviluppo di nuove tecniche di quantum metrology, imaging & sensing basate sulla luce subPoissoniana

Sviluppo previsto: Si completerà il ghost imaging plenoptico, nonché phase imaging sub-shot-noise. Si procederà inoltre allo sviluppo di un esperimento su un protocollo di quantum conformance test.

Si realizzerà un esperimento di super-risoluzione coniugando tecniche di luce strutturata con metodi basati sulla misura di funzioni di correlazione di ordine $n \geq 2$. Una prima implementazione riguarderà emissione da centri NV in diamante. In particolare tale attività usufruirà dei fondi grandi attrezzature e dei nuovi laboratori in galleria fotometrica.

Proseguirà inoltre lo sviluppo di tecniche ODMR con centri NV indirizzate a misure di temperatura e di campi magnetici deboli con risoluzione spaziale submicrometrica, in particolare per campioni biologici.

Risultati attesi. Articoli su: Biocompatibilità su cellule in vitro delle tecniche ODMR da fluorescenza a singolo fotone da centri NV in diamante, ghost imaging plenoptico, Misure di quantum conformance con twin beams, super-risoluzione.

L'attività si collega ai Focal Point della Vision INRiM 2020-2030 Improving the quality and impact of fundamental scientific research e Supporting the quality of life and health

Nuovi paradigmi della misura quantistica

Obiettivi. Applicazioni alla metrologia quantistica di nuovi paradigmi di misura della meccanica quantistica.

Sviluppo previsto. Si studieranno sperimentalmente (su fotoni) le tecniche connesse alle misure deboli (weak values) e le loro possibili applicazioni alla metrologia quantistica, con particolare riguardo agli stati entangled. Si studieranno misure su stati entangled e si proseguiranno gli studi connessi al formalismo della matrice pseudodensità, nonché l'innovativo concetto di "agents" in termodinamica quantistica. Si svilupperanno metodi innovativi di misura quantistica basati sull'entanglement (realizzando una sorgente intensa basata su un interferometro Sagnac), sfruttando le potenzialità dei nuovi laboratori in fase di ultimazione nella ex-galleria fotometrica. Si approfondiranno a livello teorico concetti connessi al collasso della funzione d'onda.

Si verificherà la possibilità di utilizzo di computer quantistici online (ad esempio IBM_Q) per simulazioni inerenti questi lavori.

Risultati attesi. Articoli su misure quantistiche connesse ai weak values, ricostruzione ed applicazioni della matrice pseudodensità, studio della irreversibilità in meccanica quantistica.

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRiM 2020-2030 Improving the quality and impact of fundamental scientific research.

Sorgenti a singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

Sviluppo previsto. Si studieranno nuovi centri di colore in diamante in vista della realizzazione di sorgenti a singolo fotone, anche in regime di criogenia (nel contesto della collaborazione con Unico nel progetto Piquet). Si investigheranno anche sorgenti di singoli fotoni a lunghezza d'onda telecom (per cui si realizzerà un microscopio confocale dedicato).

Caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

Risultati attesi. Articoli su sorgenti a singolo fotone.

L'attività si collega al Focal Point della Vision INRiM 2020-2030: Improving the quality and impact of fundamental scientific research.

Attività Ruolo NMI

Standardizzazione QKD

Obiettivi. Sviluppo di standard per le tecnologie quantistiche

Sviluppo previsto. Proseguirà la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di documenti di standardizzazione per la crittografia quantistica, in particolare per quanto riguarda il documento relativo alla caratterizzazione dei QKD Transmitter Modules che verrà pubblicato presumibilmente nel primo anno. È inoltre atteso che si sviuppi anche un documento gemello relativo alla caratterizzazione dei QKD Receiver Modules. È inoltre iniziata la collaborazione con il Focus Group on Quantum Technologies (FGQT) del CEN-CENELEC per la scrittura delle Roadmap sulla standardizzazione delle Tecnologie Quantistiche. Contestualmente alla collaborazione con l'ente di normazione nazionale UNI relativaente al Mirror Group FGQT.

Utilizzo di uno specifico banco ottico per test dei dispositivi per la QKD. Test “sul campo” di protocolli e sistemi di QKD.

Risultati attesi. Articoli sulla tartura di dispositivi per la QKD, confronti e test “sul campo” di protocolli e sistemi QKD.

Taratura dispositivi per QKD

Obiettivi. Sviluppo di metodi di caratterizzazione di dispositivi per la QKD e confronto con altri NMI.

Sviluppo previsto. Proseguiranno gli studi ed i confronti su rivelatori e sorgenti a singolo fotone al fine di giungere ad un sistema integrato a livello degli NMI dell'Unione Europea.

Risultati attesi. Articoli su sorgenti a singolo fotone. Confronto delle capacita' di misura con altri NMI.

Attività Knowledge Transfer

Divulgazione della cultura metrologica

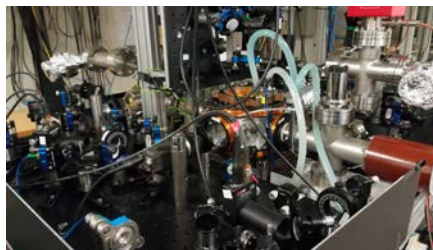
Obiettivi. Diffusione della cultura metrologica. a) Secondment di ricercatori internazionali. b) Dottorato in Fisica, Politecnico di Torino. Partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato. c) Tutoring di studenti. d) Conferenze, interventi, seminari, interviste per i media.

Sviluppo previsto. Si svolgerà attività di divulgazione scientifica rivolta alle scuole di ogni ordine e grado e particolarmente verso gli studenti delle scuole superiori, nonché seminari per la divulgazione della metrologia quantistica presso insegnanti e pubblico generico. Si seguiranno tesi a diversi livelli.

Si terranno almeno due corsi per il dottorato.

Si collaborerà con alcune industrie interessate alle tecnologie quantistiche.

TEMPO E FREQUENZA (QN05)



Il campione di frequenza ottica ad atomi di itterbio IT-Yb1

Il Settore svolge ricerche sui campioni di frequenza, scale di tempo, sistemi di confronto remoto e disseminazione.

Tempo e Frequenza, declina la sua attività scientifica in modo assai diversificato, contribuendo allo sviluppo di diverse tematiche evidenziate nel documento di visione decennale dell'Istituto.

Innanzitutto il servizio di generazione e disseminazione della scala di tempo è fondamentale per molti settori industriali del paese, spaziando dall'industria spaziale e high-tech, al mondo della finanza e delle

telecomunicazioni. La ricerca di base inoltre fornisce contributi importanti allo sviluppo della ricerca scientifica, sia come risultati ottenuti direttamente nei propri laboratori, sia attraverso un supporto infrastrutturale e competenze ad altri istituti.

Il settore infine è fortemente coinvolto nello sviluppo di numerose infrastrutture dell'Istituto, quali il network di fibre ottiche per la metrologia quantistica, l'infrastruttura Galileo ed il laboratorio Piquet.

Attività Ricerca e sviluppo

I campi di ricerca propri del settore tempo e frequenza spaziano dalla spettroscopia ad altissima risoluzione, alla generazione delle scale di tempo, dalla disseminazione all'elettronica di precisione e si articoleranno nelle seguenti attività principali:

Campioni ottici di frequenza

Obiettivi. Miglioramento del campione ottico all'Yb e sviluppo di un campione quantum enhanced basato su atomi di Sr.

Sviluppo previsto. Si prevedono due sviluppi principali nell'ambito degli orologi ottici basati su lattice alla frequenza d'onda magica. 1) Il campione all'Yb verrà portato ad avere un'accuratezza relativa di in parti per 10^{-18} . Lo sviluppo ulteriore si concentrerà sulla riduzione dell'incertezza da corpo nero e da effetti da reticolo ottico. 2) Il campione allo Sr verrà ultimato e verranno effettuati esperimenti volti alla creazione di stati atomici non classici (entanglement e spin squeezing) con tecniche cosiddette di cavity-QED: questi esperimenti vogliono dimostrare la possibilità di operare un orologio ottico portando il rumore sotto il limite classico di misura, con il fine di raggiungere una stabilità di parti in 10^{-18} in meno di 1000 secondi.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, confronti di frequenza e tarature di TAI.

Campioni a microonda

Obiettivi. In questo ambito proseguiranno gli studi volti alla realizzazione di sistemi compatti ad alta stabilità basati sul principio del pompaggio ottico impulsato (POP), studiando in dettaglio i diversi meccanismi di trasferimento di rumore.

Sviluppo previsto. Realizzazione di un nuovo prototipo POP compatto.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Nuovi oscillatori

Obiettivi. Realizzazione di sorgenti ottiche ultra low noise.

Sviluppo previsto. La possibilità di disporre di sorgenti a basso rumore di fase è indispensabile in tutta la metrologia di tempo e frequenza. Verrà sviluppata una sorgente laser ultra stabile basata su cavità ad altissima finezza. Con l'ausilio di pettini ottici di frequenza verranno sviluppate tecniche volte alla traslazione di laser ultra-low-noise in diverse regioni spettrali. Inoltre il pettine ottico verrà utilizzato per la generazione di frequenza ultra-low-noise nella regione delle microonde. Le catene di sintesi devono consolidare la capacità di produrre stabilità tra 1 e 100 s intorno a 10^{-17} in entrambe le regioni spettrali.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, realizzazione di sorgente laser.

Applicazioni scientifiche basate sul sistema Galileo

Obiettivo. Identificare aree di impiego dei campioni di frequenza per studi di fisica fondamentale.

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

Risultati attesi. Definizione di nuovi esperimenti.

Sistemi quantistici molecolari e ibridi

Obiettivi. Studio di nuove tecniche spettroscopiche per lo sviluppo di campioni di frequenza innovativi.

Sviluppo previsto. Da un lato, si proseguiranno gli studi di sistemi molecolari rallentati e/o raffreddati con tecniche laser. Le molecole raffreddate verranno utilizzate per misure spettroscopiche ad alta precisione, anche al fine di misurare la stabilità delle costanti fondamentali. Dall'altro si studieranno sistemi ibridi realizzati con l'accoppiamento di ioni di Bario e atomi di Litio ultrafreddi. Verranno realizzati cristalli di Bario in trappole elettro-ottiche, e di gas degeneri di Litio fermionico. Si effettuerà una misura della transizione di orologio dello ione di Bario a 1762nm.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Tecniche T/F in fibra ottica in applicazioni di tecnologie quantistiche, radioastronomia, geofisica, geodesia spaziale

Obiettivi. Utilizzo del link in fibra per applicazioni scientifiche e tecnologiche.

Sviluppo previsto. Il collegamento in fibra di due radiotelescopi (Medicina e a Matera) permetterà l'uso di un orologio comune per le due radioantenne, con uno studio sul miglioramento dell'indagine astronomica e geodetica, oltre che per il monitor dei ritardi introdotti dalla troposfera. La possibilità di usare le tecniche T/F su fibra nell'ambito sismologico verrà approfondito in collaborazione con INGV e altri partner nazionali su di un test bed in Italia centrale. Lo sviluppo di nuove tecniche di Quantum Key Distribution usando la tecnica di interferometria laser coerente sviluppata per T/F potrà superare i limiti legati ai collegamenti di lunga distanza, superiori ai 200 km, senza ricorrere ai cosiddetti Trusted Node.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche.

Attività Ruolo NMI

Le attività NMI della Divisione saranno articolate in:

Scala di tempo

Obiettivi. Realizzazione di scala di tempo media in tempo reale.

Sviluppo previsto. Verranno realizzati l'hardware, gli algoritmi ed il relativo software per la realizzazione di una scala media pesata in tempo reale. In questo modo potranno essere migliorate sia la stabilità che la resilienza della scala di tempo nazionale. La fontana di cesio ITCsF2 continuerà ad essere operata per le tarature periodiche di TAI. Ad essa verrà affiancato il campione all'Yb. Il campione all'Yb verrà progressivamente migliorato e reso più affidabile in modo da permettere tempi di operatività sempre maggiori. L'impiego dei campioni a fontana ed ottici è fortemente richiesto dal BIPM nella road map per la ridefinizione del secondo.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, miglioramento della scala di tempo UTC(IT).

Confronti tra campioni di frequenza

Obiettivi. Misure assolute di frequenza per contribuire alla ridefinizione del secondo

Sviluppo previsto. Un'altra delle milestone previste per arrivare alla ridefinizione del secondo è la capacità di effettuare confronti remoti di frequenza. In quest'ottica verrà ulteriormente sviluppato il link di frequenza verso la Francia per consentire confronti di orologi ottici ad altissima accuratezza. Proseguiranno inoltre gli studi sull'utilizzo del VLBI quale metodo innovativo per i confronti remoti di frequenza.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, ridefinizione del secondo.

Trasferimento di tempo accurato

Obiettivi. Messa a punto di tecniche innovative per il trasferimento di tempo

Sviluppo previsto. Sarà al centro dello sviluppo triennale del ruolo NMI, con lo sviluppo di nuove tecnologie, in particolari digitali, sia per satellite che fibra ottica. Tra le tecniche digitali, nel triennio sviluppo dei modem SDR, sia in ricezione che trasmissione; realizzazione della distribuzione PTP ad alta accuratezza "White Rabbit" su tutto il link ottico di frequenza.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, distribuzione di segnali di riferimento a utenti qualificati.

Attività Knowledge Transfer

Obiettivi. Rafforzamento del rapporto con l'industria italiana attraverso attività di knowledge transfer, e servizi metrologici

Sviluppi previsti.

1) Ingegnerizzazione dell'orologio compatto POP. Prosegue l'attività con Leonardo SpA per la realizzazione di un prototipo qualificato spazio di orologio POP, finalizzata sia alle applicazioni industriali che soprattutto quale candidato orologio Galileo seconda generazione. L'attività di qualificazione è finanziata da ASI ed ESA
2) Galileo. Proseguono le attività contrattuali con aziende come Telespazio e Thales Alenia Space per lo sviluppo dei sistemi di timing di Galileo, la definizione e l'implementazione dei vari servizi: Continua altresì l'attività di definizione algoritmi per seconda generazione per Galileo e il Timing Service Provider
3) Infrastruttura di ricerca PiqueT. Il laboratorio "Piemonte Quantum Enhanced Technology" sarà un'infrastruttura di ricerca con grande attenzione per il KT verso l'industria. Coordinato da INRIM, in collaborazione con Politecnico e Università di Torino, crea un laboratorio in camera pulita allo stato dell'arte di circa 500 m2 in cui sono conferiti strumenti per la micro/nanofabbricazione e la comunicazione e sensoristica quantistica. Nel triennio il laboratorio sarà messo a regime, e cominceranno le linee di ricerca

innovative per la realizzazione di dispositivi quantum (di ottica quantistica, orologi on chip, QKD in fibra, MEMS, materiali innovativi)

4) Riferibilità per l'industria. Sarà esteso l'erogazione del servizio di time stamping su per la finanza ed altri utenti; completato e reso permanente il link ottico di T/F per Leonardo, messo in operazione il link ottico di tempo ultra-accurato (sub-ns) per Telespazio e ASI e il centro di timing di Galileo al Fucino.

Risultati attesi. Pubblicazioni scientifiche, contratti di ricerca industriale.

c. Fonti di finanziamento

Sono attivi (o in fase di definizione) i seguenti progetti e contratti:

Chimica Fisica e Nanotecnologie

- Metrofood "Infrastrutture for promoting metrology in food and nutrition"
- QualShell "Qualità e shelf-Life del vino. Implementazione di procedimenti per la valutazione qualitativa dell'uva e il monitoraggio di processo"
- Food MetNet "Support for a European Metrology Network on Food Safety"
- ISO-G-Scope "Standardisation of structural and chemical properties of graphene"
- ViraDEP "Spettroscopia Raman accoppiata con dielettroforesi (Raman-DEP) per l'identificazione di virus e la valutazione di molecole antivirali"

Elettronica quantistica

- EMPIR 17RPT04 VersiCaL
- EMPIR 17FUN02 ParaWave
- EMPIR 18SIB07 GIOS
- EMPIR 18SIB07 RMG-1
- EMPIR19RPT01 QuantumPower
- EMPIR 2020 FUN-f16 SuperQuant (submitted)
- EMPIR 2020 FUN COMET (submitted)
- H2020 "SUPERGALAX"
- MIUR IMPOL FISR2020IP_03567 (FISR 2020 COVID – submitted)
- Convenzione MISE-INRiM Validazione contatori (in collaborazione con AE)
- DartWars (Progetto collaborazione INFN – approvato)

Fotometria e radiometria

- EMPIR 17FUN06 SIQUST
- EMPIR 18SIB10 chipSCALe
- EMPIR 17RPT03 (DIG-AC)
- H2020 "SUPERGALAX"
- Progetto CN5 INFN "SIMP"
- Progetto CN2 INFN "PTOLEMY"

Ottica quantistica

- EMPIR 17FUN01 BECOME
- EMPIR 19NET02 EMN-Quantum
- EMPIR 19NRM06 MeTISQ
- H2020 "PATHOS"
- H2020 "QUARTET"

Tempo e frequenza

- EMPIR 18SIB06 TIFOON
- EMPIR 18SIB05 ROCIT
- EMPIR 17IND14 WRITE
- EMPIR 17FUN03 USOQS
- EMPIR 17FUN07 CC4C
- H2020 "CLONETS-DS"
- H2020 "SLAQ"

- CNES "GRC MS 3"
- NATO "SEQUEL"
- GSA/EC "*Egnos-SPMS*"
- LEONARDO SPA "FIBEROPTIC"
- OpenFiber Spa "MEGLIO"
- GNSS tramite Spaceopal "TSP GSOp"