

RELAZIONE CONSUNTIVA DI ATTIVITÀ SCIENTIFICA 2021

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

Approvata dal Consiglio di Amministrazione il 2 maggio 2022

INDICE

Premessa	5
PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte	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 – RESOCONTO TRASVERSALE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA	12
3 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG)	16
4 – IL GRUPPO DI LAVORO PER L’OPEN SCIENCE (OS)	17
5 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE	18
6 – LE RISORSE DI BILANCIO	28
7 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA	30
7.1 - EURAMET – EUROPEAN PARTNERSHIP ON METROLOGY (EPM)	30
7.2 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)	31
7.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE	37
7.4 - ITALIAN QUANTUM BACKBONE (IQB) – DORSALE QUANTISTICA ITALIANA	39
7.5 - NANOFACILITY PIEMONTE	40
7.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET)	43
7.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA)	44
8 – IL QUADRO DELLE COLLABORAZIONI ED EVENTUALI INTERAZIONI CON LE ALTRE COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA	46
8.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI	48
8.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI	52
9 – LE ATTIVITA’ E I RISULTATI DI MAGGIOR RILIEVO CONSEGUITI NEL 2020	56
9.1 - RICERCA E SVILUPPO (R&S)	56
9.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO (NMI)	61
9.3 - KNOWLEDGE TRANSFER (KT)	65
9.4 – IL PANORAMA DEI PRODOTTI 2021 DELL’INRiM	69
10 – LE PUBBLICAZIONI	72
11 – I SERVIZI ATTIVITA’ CONTO TERZI	76
12 – I PROGETTI	79
13 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE	86
13.1 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: L’UFFICIO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO (UTT)	86
13.2 – ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: ATTIVITA’ DI SUPPORTO AD ACCREDIA	89
13.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA	92
13.4 - ATTIVITÀ DI COINVOLGIMENTO CULTURALE E SOCIALE: IL PUBLIC ENGAGEMENT	92
13.5 - L’ ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE	98
PARTE 2 – Schede di attività	101
1 – LA DIREZIONE SCIENTIFICA	103
1.1 – IL DIRETTORE SCIENTIFICO, IL CONSIGLIO DI DIREZIONE, LE DIVISIONI E I SETTORI SCIENTIFICI OMOGENEI	103
1.2 – IL SETTORE INTERDIVISIONALE COORDINAMENTO E DIVULGAZIONE SCIENTIFICA	105
1.3 – LE RISORSE UMANE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA	111
1.4 – LA DISTRIBUZIONE DELLE RISORSE UMANE PER TIPOLOGIA DI ATTIVITA’	113
1.5 – LE DIVISIONI	116
Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita	116

Divisione Metrologia applicata e ingegneria	146
Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie	175
Appendice 1: Struttura organizzativa dell'INRiM	198
Appendice 2: I progetti	200
Appendice 3: Convenzioni con altri Istituti e Università	208
Appendice 4: Laboratori principali	214
Appendice 5: Acronimi	217

TABELLE

Tabella 1 – Gli enti con cui l'INRiM ha collaborato nel 2021	46
Tabella 2 - Mappatura dei settori metrologici INRiM	48
Tabella 3 - INRiM – CMC	49
Tabella 4 – Sintesi delle pubblicazioni nel periodo 2019-2021 suddivise tra R&S, NMI e KT	69
Tabella 5 – Distribuzione delle pubblicazioni 2021 nelle Divisioni (R&S, NMI e KT)	69
Tabella 6 – Progetti, attività servizi conto terzi e altri prodotti	70
Tabella 7 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica	71
Tabella 8 – Pubblicazioni 2019-2021	72
Tabella 9 – Distribuzione delle pubblicazioni 2021 nelle Divisioni	73
Tabella 10 – Documenti servizi conto terzi emessi nel quadriennio 2018- 2021	76
Tabella 11 – Distribuzione, per tipologia, dei progetti attivi nel 2021.....	79
Tabella 12 – Attività supporto all'accreditamento laboratori 2021	89
Tabella 13 – Attività di Alta Formazione svolte nel 2021	99
Tabella 14 – Attività di Formazione Permanente svolte nel 2021	100
Tabella 15 - Personale TI e TD	111
Tabella 16 – Distribuzione del personale TI nelle Divisioni	111
Tabella 17 – Distribuzione del personale TD nelle Divisioni.....	111
Tabella 18 – Distribuzione del personale non strutturato: assegni e borse.....	112
Tabella 19 – Distribuzione del personale non strutturato: dottorandi	112
Tabella 20 – Distribuzione del personale non strutturato: associati	112
Tabella 21 – Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni	113
Tabella 22 - Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni: strutturati e non strutturati	114
Tabella 23 – Progetti EMPIR (4 ^a call) avviati nel 2018.....	200
Tabella 24 – Progetti EMPIR (5 ^a call) avviati nel 2019.....	201
Tabella 25 – Progetti EMPIR (6 ^a call) avviati nel 2020.....	201
Tabella 26 – Progetti EMPIR (7 ^a call) avviati nel 2021	202
Tabella 27 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2021	203
Tabella 28 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2021	205
Tabella 29 - Progetti di ricerca Regionali e Fondazioni attivi nel 2021	206
Tabella 30 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2021	206

Premessa

Questa relazione annuale presenta i risultati conseguiti dall'INRiM nel 2021, in ottemperanza a quanto previsto dall'articolo 7, comma 4, lettera f dello Statuto, che stabilisce che il Consiglio di Amministrazione *“delibera, previo parere del Consiglio Scientifico, la relazione annuale dell'attività svolta, verificando il raggiungimento degli obiettivi del PTA adottato nell'anno precedente”*.

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

- Ricerca Scientifica
- Ricerca Istituzionale
- Terza Missione

Il documento è costituito dalle due seguenti sezioni:

Parte I – Elementi generali e sintesi delle attività svolte, dove sono descritti - oltre alla missione, all'assetto organizzativo e alla struttura scientifica dell'Istituto - le attività svolte nel 2021 in ambito scientifico e i risultati ottenuti, con particolare riguardo agli highlights delle Divisioni e ai prodotti dell'INRiM (pubblicazioni, prodotti Servizi Conto Terzi e di Terza Missione);

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

Nelle Appendici sono invece riportati in dettaglio la struttura organizzativa dell'INRiM, i progetti e le convenzioni di collaborazione attivi nel 2021, i laboratori dell'Istituto.

PARTE 1 – Elementi generali e sintesi delle attività svolte

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

1.1 - LA MISSIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2 - L'ASSETTO ORGANIZZATIVO E LA STRUTTURA SCIENTIFICA

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

Organi di Indirizzo politico-amministrativo:

Presidente

Consiglio di Amministrazione

Organi di indirizzo scientifico:

Consiglio Scientifico

Direttore Scientifico

Direzione Scientifica

Organi di Controllo:

Collegio dei Revisori

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

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

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

Divisioni, per lo svolgimento dei programmi tecnico-scientifici.

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

Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)

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

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

Metrologia applicata e ingegneria (AE)

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

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

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

Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)

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

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

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

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

L'intera struttura organizzativa dell'INRiM è disponibile anche nella sezione "L'Ente" del portale www.inrim.it (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 Colonnati 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. Importanti lavori di trasformazione hanno interessato la palazzina un tempo dedicata all'officina centralizzata e alle manutenzioni, che, a partire dal 2021, ospita i laboratori di PiQuet (oltre 400 mq di "Camere pulite").

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 – RESOCONTO TRASVERSALE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA

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

Nonostante il contesto non semplice, ma proprio per rimarcare l'intenzione di rilanciare le attività scientifiche in vista delle sfide future, il Presidente, in osservanza all'art. 8 comma 7 dello Statuto, ha chiesto al Consiglio Scientifico (CS) di definire una metodologia per valutare l'impatto delle missioni dell'Ente. In particolare, l'idea chiave è quella di avere una fotografia della situazione dell'Ente per dare attuazione al nuovo documento decennale di visione strategica (<https://www.inrim.it/vision>), che è stato approvato a luglio 2020. Il CS ha dato mandato ad una commissione di alto livello scientifico di definire una procedura e fissare i criteri oggettivi (i cosiddetti *Key Performance Indicators*, KPI) per questo scopo. La procedura consiste di due fasi: (i) una prima fase in cui si analizzeranno le attività dell'Istituto mediante i KPI principali (9, in totale) e (ii) una fase successiva di approfondimento con il personale coinvolto, per un sotto-insieme dei casi analizzati, al fine di evidenziare le attività che presentano delle criticità e che quindi richiederanno la definizione, insieme al personale, di un piano di miglioramento. In particolare, nella seduta del 20 settembre 2021 (<https://www.inrim.it/lente/governo-e-organizzazione/consiglio-scientifico/convocazioni-e-comunicati/2021>), il CS ha approvato il documento della commissione internazionale in merito ai KPI di INRiM, a cui si darà attuazione durante il 2022 applicandola all'Istituto. Questa azione 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.

Un'altra azione che è stata perseguita attivamente nel 2021 è stata quella di potenziare le collaborazioni strutturate ed istituzionali con i soggetti più promettenti per l'implementazione del già citato documento decennale di visione strategica. In particolare, nel 2021 INRiM, Politecnico di Torino ed Università di Torino hanno firmato una convenzione trilaterale di collaborazione in attività di ricerca e trasferimento tecnologico e per la realizzazione e la gestione di laboratori condivisi per tecnologie micro-nano e quantistiche. Tale convenzione si prefigge di realizzare una forte sinergia, intorno alla camera bianca PiQuET (<https://piquetlab.it/>) ma non solo, per il potenziamento delle competenze per:

- la metrologia quantistica;
- la metrologia "on chip";

- lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati mediante la scienza e le tecnologie quantistiche basate sulla micro-/nano-fabbricazione;
- le nuove linee di ricerca metrologica per interferometri microstrutturati, nanotermometri, orologi atomici miniaturizzati, e in generale le piattaforme di fotonica integrata del silicio, le tecnologie di singolo fotone basate su effetto Josephson ed i materiali superconduttori, i centri di colore in diamante e più in generale i materiali dielettrici, le tecnologie Micro e Nano Electro Mechanical Systems (MEMS, NEMS).

La precedente convenzione trilaterale costituisce il nucleo di aggregazione intorno al quale coordinare, sulle medesime tematiche, le collaborazioni con l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) e con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). A questo scopo, durante il 2021, sono state organizzate delle visite presso IIT e presso il campus INRiM, a cui hanno partecipato ricercatrici e ricercatori di IIT e di INFN.

Un'altra tematica su cui, nel 2021, si è cercato di potenziare le attività dell'Ente è quella dell'intelligenza artificiale, soprattutto applicata allo studio di nuovi materiali con proprietà eccezionali. Per esempio, è stata attivata una borsa di dottorato, finanziata in parti uguali da INRiM e Politecnico di Torino, nell'ambito del corso di dottorato Industria 4.0 del Dottorato Nazionale di Intelligenza Artificiale, dal titolo "*Fair and trustworthy machine learning*". Un altro esempio, è stata la firma del Memorandum of Understanding (MoU) con il Material Measurement Laboratory's Materials Genome Program presso il National Institute of Standards and Technology (NIST), dal titolo "*Technical cooperation in development of research data infrastructures and the advancement of artificial intelligence approaches for materials research and development*".

Queste azioni di potenziamento delle collaborazioni nazionali ed internazionali, saranno molto utili per proporre delle proposte efficaci per il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), in particolare quelle che fanno riferimento al Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR). Il 7 ottobre 2021, il MUR ha pubblicato il documento "PNRR MUR Linee Guida per le iniziative di sistema della Missione 4 Componente 2: Dalla ricerca all'impresa" (<https://www.mur.gov.it/it/news/giovedi-07102021/pnrr-le-linee-guida-iniziativa-sistema-missione4-componente2>), organizzato su quattro linee di intervento principali:

- Investimento 1.3, Partenariati allargati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base;
- Investimento 1.4, Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies;
- Investimento 1.5, Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S";
- Investimento 3.1, Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e di innovazione.

La stesura di proposte in questi ambiti occuperà una significativa parte di impegno del 2022.

L'impegno sul fronte delle proposte progettuali si sposa anche con l'impegno dell'Istituto a promuovere la diffusione dei risultati della ricerca mediante il modello della Scienza Aperta tramite il Gruppo di Lavoro Open Science, che è stato fondato nel 2020. In particolare, la Policy di Istituto sull'Accesso Aperto (Open Access) alle pubblicazioni scientifiche è stata approvata dal Consiglio di Amministrazione dell'INRiM ed è entrata in vigore dal 1° gennaio 2021 (<https://www.inrim.it/ricerca-sviluppo/policy-open-access>). L'INRiM adotta i principi dell'accesso aperto alla letteratura scientifica

e promuove la diffusione gratuita dei risultati della ricerca prodotti in Istituto. Nel documento viene ribadita l'importanza di potenziare l'accessibilità dei risultati della ricerca, sotto forma di pubblicazioni, dati e software open source per creare la Scienza Aperta che promuove una ricerca responsabile e collaborativa. Vengono moltiplicate le opportunità di analisi, validazione e riutilizzo dei risultati della ricerca scientifica, si valorizza e preserva il patrimonio culturale scientifico. Si propone di avvalersi di un archivio istituzionale, METRICA (METRology Institutional CAtalog) per l'attuazione della presente policy. La gestione operativa di METRICA è effettuata tramite un modulo del Sistema Informatico per la Ricerca Istituzionale, ovvero il Catalogo della Ricerca - IRIS.

Tra le modalità con cui rendere fruibili i risultati della ricerca, c'è sicuramente anche la Terza Missione dell'Istituto mediante le attività di valorizzazione economica della ricerca. Al fine di promuovere queste attività, è stato costituito l'Ufficio di Trasferimento Tecnologico (UTT) coordinato da un Funzionario di Trasferimento Tecnologico (TTO – *Technology Transfer Officer*). Durante il 2021, è stato rafforzato il rapporto con NetVal, il Network per la valorizzazione della Ricerca (<https://netval.it/>). In particolare, sono state fatte le prime azioni per caricare il portafoglio INRiM sulla piattaforma Knowledge Share (<https://www.knowledge-share.eu/>), piattaforma che raccoglie i

brevetti di Università ed EPR ideata per promuoverne lo sfruttamento presso industrie ed altri soggetti, con il sostegno economico dell'Ufficio Brevetti e Marchi. Questa è un'attività onerosa in termini di tempo, perché non si tratta di semplice lista, ma è richiesta per ciascuno una presentazione più strutturata che richiede attenzione e lavoro, in collaborazione con gli inventori. La piattaforma conta circa 1 750 brevetti e ha generato circa 150 contatti con imprese per il loro sfruttamento e si candida a diventare la vetrina ufficiale

The screenshot shows the Knowledge Share platform interface. At the top, there is a search bar and navigation links: BREVETTI, EVENTI, NEWS, ABOUT, PARTNER, ACCEDI, and flags for Italy and the UK. Below the search bar, there are five project cards, each with an image, a title, and a brief description.

- COMPUTAZIONE NEUROMORFICA IN DISPOSITIVI BASATI SU RETI DI NANOFILI AUTOASSEMBLATE**: Reti autoassemblate di nanofili che permettono di realizzare un'architettura «hardware» per la computazione neuromorfica.
- LASER MONOCROMATICO COMPATTO, STABILE E A BASSO COSTO**: Laser compatto ed economico con miglior stabilità e sintonizzazione in frequenza rispetto a modelli standard in commercio.
- NANOCOSTRUTTO RESPONSIVO A ULTRASUONI PER TERANOSTICA ANTITUMORALE**: Invenzione in grado di trattare cellule tumorali ed indurle alla morte per mezzo di un nanocostretto senza necessità di impiegare farmaci chemioterapici.
- OPTICAL PRESSURE SENSOR**: Il sensore di pressione ottico «conta» i fotoni diffusi dalle molecole del gas, misurando così la densità del gas.
- SCHERMATURA MAGNETICA PER APPARATI TMS**: Schermo per apparecchiature di stimolazione magnetica transcranica; riduce fino a tre ordini di grandezza l'esposizione ai campi magnetici.

della ricerca pubblica italiana con l'aggiunta del database degli spin off e di tecniche di intelligenza artificiale.

Un altro modo di rendere fruibili i risultati della ricerca è rappresentato dalla Terza Missione dell'Istituto mediante le attività di valorizzazione sociale della ricerca. In particolare, INRiM ha aderito nel 2021 ad APEnet, la Rete italiana degli Atenei ed Enti di Ricerca per il Public Engagement (<http://www.apenetwork.it/it>).



3 – LE POLITICHE DI PARI OPPORTUNITÀ (CUG)

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

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

Coerentemente con i suoi compiti di natura propositiva, consultiva e preventiva sulle materie di competenza e di verifica (secondo quanto previsto dal Regolamento di Funzionamento e dal PAP, ai sensi della Direttiva emanata dai Dipartimenti della Funzione Pubblica e per le Pari Opportunità del 4 marzo 2011), le azioni 2021 del CUG hanno avuto la seguente natura propositiva:

- Azioni atte a favorire condizioni di benessere lavorativo;
- Azioni positive, interventi e progetti, quali indagini di clima, codici etici e di condotta, idonei a prevenire o rimuovere situazioni di discriminazioni o violenze sessuali, morali o psicologiche - mobbing - nell'amministrazione pubblica di appartenenza;
- Diffusione delle conoscenze ed esperienze sui problemi delle pari opportunità e sulle possibili soluzioni adottate da altre amministrazioni o enti, anche in collaborazione con la Consigliera di parità del territorio di riferimento;
- Analisi e programmazione di genere che considerino le esigenze delle donne e quelle degli uomini (es bilancio di genere);
- Raccolta e analisi dei dati legati alla direttiva 2/2019 anche senza vincolo normativo;
- Redazione di una proposta di Gender Equality Plan.

consultiva:

- Orario di lavoro, forme di flessibilità lavorativa e interventi di conciliazione;
- Piani di formazione del personale.

e di verifica:

- Sullo stato di attuazione del Piano triennale di azioni positive con focus sui risultati conseguiti, sui progetti e sulle buone pratiche in materia di pari opportunità.

Per questi fini nel corso del 2021 il CUG si è riunito in sedute ordinarie e in sedute operative per Commissioni (in modalità a distanza) con cadenza pressoché mensile in relazione ai seguenti ambiti:

- Bilancio di genere: analisi dei dati forniti da Amministrazione e confluiti in Relazione Annuale di Attività e Piano Triennale delle Azioni Positive
- Proposta attiva nella metodologia di analisi Stress da Lavoro Correlato (criteri per la formazione di Gruppi Omogenei);
- Organizzazione Workshop "Percorsi di CUG", evento online aperto al personale degli EPR e degli Atenei che ha presentato l'attività dei CUG e il loro ruolo nella politica degli Enti e degli Atenei. Grazie alle testimonianze dei presidenti dei CUG partecipanti sono stati approfonditi ambiti, azioni e opportunità presenti e future per il raggiungimento degli obiettivi di benessere, parità e inclusione all'interno delle comunità della ricerca e accademiche;
- Confronto con Amministrazione in relazione al Regolamento per il Telelavoro;
- Azione di monitoraggio dello smart-working esteso a tutto il personale;

- Redazione di un Gender Equality Plan, successivamente adottato dall'Amministrazione con modifiche minimali, come documento programmatico necessario per la partecipazione a bandi europei;
- Divulgazione di messaggi al personale con l'intento di stimolare una riflessione sulle tematiche relative alle discriminazioni, al benessere organizzativo ed all'equilibrio di genere: "Pillole di CUG".

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

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

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

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

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

- formulare proposte per l'attuazione del principio dell'Accesso Aperto;
- intrattenere rapporti con le istituzioni esterne che promuovono l'Accesso Aperto;
- provvedere alla stesura, alla revisione e all'aggiornamento della "Policy di Istituto sull' Accesso Aperto alle pubblicazioni scientifiche" e delle linee guida operative; curare il monitoraggio dello stato di attuazione della policy;
- curare il deposito, la validazione, la gestione dei diritti e la pubblicazione dei prodotti nell'Archivio Istituzionale METRICA (IRIS/Cineca);
- 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 di Accesso Aperto 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;
- suggerire linee guida per la sottoscrizione di contratti editoriali di abbonamento a risorse bibliografiche di interesse per INRiM in accordo con i principi dell'Open Access e dell'Open Science.

Nel 2021 le attività del Gruppo di lavoro OS si sono concentrate su molteplici obiettivi, raggiungendo i seguenti

risultati:

- stesura della Policy sulla gestione dei dati della ricerca;
- stesura delle Linee guida sul software per i dati della ricerca;
- aggiornamento dell'Archivio Istituzionale (METRICA) per le pubblicazioni, al fine di renderlo compatibile con le richieste open access provenienti dalla CE e in ambito nazionale da ANVUR;
- ristrutturazione, in collaborazione con Cineca, della homepage di METRICA al fine di renderla più funzionale (inserimento di link per il supporto dell'utente e miglioramento del modulo di ricerca) ed esteticamente più gradevole;
- scambio di informazioni e confronto con i gruppi che promuovono l'Accesso Aperto di istituzioni esterne (TU Delft e Politecnico di Torino);
- partecipazione al progetto EURAMET TC-IM 1449 "Research data management and the European Open Science Cloud";
- il Gruppo di lavoro si è anche impegnato, in considerazione delle nuove regole sull'Accesso Aperto dettate dal bando VQR 2015-2019, ad operare una prima selezione dei prodotti presentati dall'INRiM per la valutazione, svolgendo così la propria funzione di controllo e di supervisione sull'effettivo Accesso Aperto dei file presenti nell'Archivio istituzionale (METRICA).

5 – LE POLITICHE DI FORMAZIONE DEL PERSONALE

La formazione nel 2021 si è articolata sui tre livelli definiti, in continuità con la pianificazione avviata nel 2019, dal Piano della Formazione 2021-2023 approvato nella seduta del Consiglio di amministrazione del 30 aprile 2021, deliberazione n. 12/2021/2:

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

Per la realizzazione del Piano, nel 2021 l'Istituto ha potuto contare su 127mila euro, provenienti dai nuovi stanziamenti destinati dal Consiglio di amministrazione per 85.000 euro, che si aggiungevano alle risorse già impegnate per attività in corso, pari a 42.410 euro. L'investimento pro-capite 2021 si attesta così a complessivi 460 euro.

Le iniziative sono state progettate nel quadro delle scelte strategiche del Piano Triennale delle Attività e del Piano della Performance, considerando i risultati delle attività formative già realizzate e rispondendo – in ogni caso – alle richieste dei Responsabili delle Strutture organizzative.

I progetti formativi 2021 sono stati 7: 1 di I livello, con un corso e 11 partecipanti, 3 per il II livello, con 98 corsi e 364 partecipanti e, infine, 3 per il III livello, con 11 corsi e 934 partecipanti.

In considerazione del perdurare dell'emergenza pandemica anche nel 2021 le attività formative – realizzate attraverso società di formazione, professionisti esterni e formatori interni - sono state mantenute quasi integralmente a distanza, in modalità sincrona e asincrona.

Nella tabella seguente è riportato il riepilogo dei progetti formativi attivati, all'interno dei livelli, nell'anno 2021, con l'indicazione del numero dei corsi, numero dei partecipanti e numero delle ore di formazione diretta.

Tabella – Distribuzione dei progetti per livello formativo

Livello	Progetto Formativo	n. corsi	n. partecipanti	n. ore
I	A. Programma intensivo di sviluppo manageriale	1	11	22,5
II	A. Sviluppo delle competenze per la presentazione di progetti di ricerca e la loro gestione	15	109	104,5
	B. Aggiornamento normativo e professionale specifico	-	-	-
	C. Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	83	255	1.075
III	A. Informatico	5	73	45
	B. Aggiornamento normativo: elementi di base	3	750	10
	C. Soft Skills per lo Smart Working	3	111	13,5

Nelle tabelle seguenti si rappresentano le attività formative realizzate nel 2021 dirette al personale dell'Area Research & Knowledge Transfer. Per ciascuna iniziativa sono riportati i dettagli: titolo, modalità di erogazione, durata, unità di personale (UdP) partecipanti e soggetto formatore, distinti per livello e progetto.

III Livello. Dettaglio dei corsi erogati

PROGETTO	CORSO	FORMATORE	TIPOLOGIA	UdP	ORE
Aggiornamento normativo: elementi di base	L'attuazione del piano triennale di prevenzione della corruzione	PromoPA	A catalogo - FAD	250	4,00
Aggiornamento normativo: elementi di base	Il codice di comportamento e gli obblighi del dipendente pubblico	PromoPA	A catalogo - FAD	250	3,00
Aggiornamento normativo: elementi di base	Il GDPR e disciplina della privacy e tutela dei dati personali	PromoPA	A catalogo - FAD	250	3,00
Informatico	Git version control system 1 edizione	A.Gerace (docente interno)	Interno - Webinar	19	8,00
Informatico	Git version control system 2 edizione	A.Gerace (docente interno)	Interno - Webinar	15	8,00
Informatico	Excel base	A.Facello (docente interno)	Interno - Webinar	35	8,00
Informatico	Software Mathematica e Tecnologie Wolfram	Adalfa	A catalogo - Webinar	2	18,0
Informatico	SolidWorks PDM	Nuovamacut Automazione SPA	A catalogo - Webinar	2	3,0
Soft Skills per lo Smart Working	Time management per Smart Worker	Praxi	In house - Webinar	47	8,00

Soft Skills per lo Smart Working	Il decalogo dello smart working	SALEF	In house - Webinar	63	2,00
Soft Skills per lo Smart Working	Essere empatici verso sé e verso gli altri: la gestione della rabbia e l'ascolto dei bisogni nelle relazioni di lavoro	LineaPA	A catalogo - Webinar	1	3,5

Il Livello. Dettaglio dei corsi erogati

PROGETTO	CORSO	FORMATORE	TIPOLOGIA	UdP	ORE
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	ERC Saring Grant	APRE	A catalogo - Webinar	1	4,5
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Open Science dalla A alla Z	Elena Giglia	In house - Webinar	56	8
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Come scrivere un progetto ERC - Consolidator in Horizon Europe	APRE	A catalogo - Webinar	18	4
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Rendicontazione in Horizon 2020	APRE	A catalogo - Webinar	3	5
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Elementi di Cross Cutting in Horizon Europe: Etica - Gender - Standard	APRE	A catalogo - Webinar	6	4
Sviluppo delle competenze per	Come massimizzare	APRE	A catalogo - Webinar	1	6

la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	l'impatto dei risultati in Horizon Europe				
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Presentazione di progetti Doctoral Networks delle Marie Sklodowska Curie actions in Horizon Europe	Gianfranco Durin	In house - Webinar	11	5
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Scrivere una proposta ERC Advanced Grant	APRE	A catalogo - Webinar	1	6
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Sistema Codice Unico di Progetto (CUP)	INFN	A catalogo - Webinar	3	4
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	We-We "Material Transfer Agreement (MTA) di campioni biologici di origine umana e dei dati ad essi associati"	NETVAL	A catalogo - Webinar	1	3
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	We-We "Come gestire gli aspetti fiscali degli asset immateriali: ammortamento, compensi per gli inventori"	NETVAL	A catalogo - Webinar	1	3
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Summer school "La rinascita del Trasferimento Tecnologico: cosa ha funzionato e cosa può funzionare meglio nel futuro"	NETVAL	A catalogo - In aula	1	18
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Conferenza APRE 2021	APRE	A catalogo - Webinar	3	12
Sviluppo delle competenze per la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione	Horizon Europe: aspetti legali e finanziari	APRE/MESAP	A catalogo - Webinar	2	4
Sviluppo delle competenze per	Introduzione ad Horizon Europe	Studio EU CORE	A catalogo - Webinar	1	18

la presentazione dei progetti di ricerca e la loro gestione		(CODIGER)			
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Gestione delle Problematiche ambientali applicate al mondo della ricerca scientifica	CSAO	In house - Webinar	8	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Preparazione all'esame per il conseguimento della patente di abilitazione all'impiego dei gas tossici	CSAO	A catalogo - Webinar	20	16
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	I contratti di trasferimento tecnologico e l'evidenza pubblica	NETVAL	A catalogo - Webinar	5	2
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	I nuovi contratti delle Risorse elettroniche	Editrice Bibliografica	A catalogo - Webinar	1	4,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Openstack: User	GARR	A catalogo - Webinar	1	1,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Juju: user	GARR	A catalogo - Webinar	1	1,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Openstack: Admin	GARR	A catalogo - Webinar	1	3
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Architettura della piattaforma OpenStack e Deploy di un cluster OpenStack	GARR	A catalogo - Webinar	1	1,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Presentazione delle nuove applicazioni IRIS per la VQR	CINECA	A catalogo - Webinar	3	2
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	The measurement of electrical impedance	Luca Callegaro (docente interno)	A catalogo - Webinar	5	10
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	DIAdem Basics	National Instruments	A catalogo- Webinar	1	16

Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators from RF/Microwaves to Optics /Scientific Instruments	Prof. Rubiola	A catalogo - Webinar	1	22,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	A set of 15 lectures on time-and-frequency, instrumentation and metrology	Prof. Rubiola	A catalogo - Webinar	1	22,5
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Gestione del rischio e analisi del contesto secondo ISO/IEC 17025: strumenti pratici per un laboratorio di prova o taratura	ANGQ	A catalogo - webinar	3	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Wiley Open Access Account Training for Administrators - CRUI	Wiley-CRUI	A catalogo - Webinar	1	1
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Incontro Tecnico TuttoNormel 2021	Tutto Normel	A catalogo - Webinar	1	4
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Auditor di Terza Parte Sistema di Gestione QUALITÀ secondo la UNI EN ISO 9001:2015. Corso riconosciuto AICQ-SICEV	AICQ - Piemonte	A catalogo - Webinar	1	40
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	UNI ISO 10004:2019 Come misurare la soddisfazione del Cliente	UNI	A catalogo - Webinar	1	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	UNI EN ISO 9001:2015 - Focus sul punto 9. Valutazione delle prestazioni	UNI	A catalogo - Webinar	2	4
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	AWS Cloud Practitioner Essentials Day	CRUI	A catalogo - Webinar	1	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Corso avanzato di sicurezza laser	CEI	A catalogo - Webinar	1	8
Sviluppo delle competenze	Magnetismo dei materiali e misure	Michaela Kuepfering,	A catalogo - Webinar	2	14

tecnico-specialistiche	magnetiche	Vittorio Basso			
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Costruire presentazioni efficaci	Praxi	In house - Webinar	15	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Sebina Next per gli operatori del Polo bibliografico della Ricerca	DM Cultura per UniTO	A catalogo - Webinar	1	12
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	U-GOV Ciclo acquisti - Corso Base	CINECA	A catalogo - Webinar	1	16
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Innovazione e tecnologica per i beni culturali	Fondazione Torino Wireless	A catalogo - Webinar	1	2
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Corso abilitante per tecnici competenti in acustica	FOIT	A catalogo - Webinar	1	180
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Machine Learning for materials desing	University of Maryland	A catalogo - Webinar	7	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Officina di Narrazione della Scienza	Università di Bologna	A catalogo - Webinar	1	27
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Misure Elettriche ed Elettrotecniche	Flavio Galliana, Pier Paolo Capra	A catalogo - Webinar	31	10
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Elettrotecnica di base	CEI	A catalogo - Webinar	2	8
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Evoluzione delle norme tecniche per la sicurezza, le comunicazioni e la funzionalità degli impianti elettrici	CEI	A catalogo - Webinar	1	6
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Un'analisi della proposta di Regolamento "Digital Services Act" sotto il profilo della protezione dei diritti di Proprietà Industriale	DGTPI-UIBM del MISE	A catalogo - Webinar	1	2,5
Sviluppo delle competenze	Ergonomia cognitiva in	TUV AUSTRIA ITALIA	A catalogo - Webinar	1	4

tecnico-specialistiche	pratica: progettazione e valutazione dei sistemi di lavoro				
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	I BACS, Building Automation & Control Systems, la EN UNI 15232-1 e l'indice SRI	AiCARR Formazione	A catalogo - Webinar	1	4
Sviluppo delle competenze tecnico-specialistiche	Il conguaglio fiscale 2021	CINECA	A catalogo - Webinar	1	4

I Livello. Dettaglio dei corsi erogati

PROGETTO	CORSO	FORMATORE	TIPOLOGIA	UdP	ORE
Programma intensivo di sviluppo manageriale	The new leadership	SALEF	In house - Webinar	11	22,5

Il quadro delle attività formative 2021 si completa con la formazione obbligatoria in tema di salute e sicurezza, gestita dal Servizio di Prevenzione e Protezione a valere su risorse specifiche e dedicate, distinte da quelle stanziate per la formazione in genere.

Di seguito è riportato il dettaglio dei corsi in materia di salute e sicurezza dei lavoratori attivati nell'anno 2021.

Corsi in materia di salute e sicurezza dei lavoratori. Dettaglio

Progetto formativo: FORMAZIONE ALL'INGRESSO IN ISTITUTO					
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore	
Formazione dei lavoratori ex art. 37 c.4 D.Lgs. 81/08	In presenza	2	25	Servizio Prevenzione e Protezione	
Progetto formativo: FORMAZIONE GENERALE DEI LAVORATORI					
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore	
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	FAD	4	7	AWARE LAB	
Progetto formativo: FORMAZIONE GENERALE DEI LAVORATORI IN LINGUA INGLESE					
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore	
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011 in lingua inglese	FAD	4	9	AWARE LAB	
Progetto formativo: FORMAZIONE GENERALE DEI LAVORATORI					
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore	
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	FAD	4	13	Servizio Prevenzione e Protezione	

Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO BASSO				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	FAD	4	5	Servizio Prevenzione e Protezione
Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO BASSO IN LINGUA INGLESE				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011 in lingua inglese	FAD	4	9	AWARE LAB
Progetto formativo: FORMAZIONE SPECIFICA DEI LAVORATORI RISCHIO MEDIO				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione generale dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e ASR del 21 dicembre 2011	FAD	8	19	Servizio Prevenzione e Protezione
Progetto formativo: FORMAZIONE OBBLIGATORIA DEI LAVORATORI - RISCHIO DA AGENTI FISICI (CAMPI ELETTROMAGNETICI E LASER)				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08	FAD	4	6	AWARELAB
Progetto formativo: FORMAZIONE OBBLIGATORIA DEI LAVORATORI - RADIOPROTEZIONE				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori ex art. 37 D.Lgs. 81/08	FAD	4	15	Dott. Giulia LO MORO (Esperta in radioprotezione INRiM)
Progetto formativo: FORMAZIONE ADDETTI AL PRIMO SOCCORSO				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori addetti al primo soccorso ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e D.M. 18.07.2003 n. 388	FAD e in presenza	12	18	AWARELAB e GDM sas
Progetto formativo: FORMAZIONE ADDETTI ALLA PREVENZIONE INCENDI				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori addetti alla prevenzione incendi ex art. 37 D.Lgs. 81/08 e D.M. 10.03.1998	FAD e in presenza	8	18	AWARELAB e CAVALLARI
Progetto formativo: FORMAZIONE ADDETTI ALLA GESTIONE DEI GAS TOSSICI				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori addetti alla gestione dei gas tossici art. 37 D. Lgs. 81/08 e Regio Decreto 1927	FAD	24	21	CSAO

Progetto formativo: LA NORMATIVA AMBIENTALE APPLICATA AL MONDO DELLA RICERCA				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori art. 37 D. Lgs. 81/08	FAD	8	8	CSAO
Progetto formativo: CORSO AVANZATO DI SICUREZZA LASER				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori art. 37 D. Lgs. 81/08	FAD	8	1	C.E.I.
Progetto formativo: ERGONOMIA IN PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE DEI SISTEMI DI LAVORO				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori art. 37 D. Lgs. 81/08	FAD	2	3	TUV AUSTRIA
Progetto formativo: I PRODOTTI CHIMICI, LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CHIMICO NELL'OTTICA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori art. 37 D. Lgs. 81/08	FAD	2	2	TUV AUSTRIA
Progetto formativo: LA NORMATIVA SUI RIFIUTI, I SOTTOPRODOTTI E LA MATERIE PRIME SECONDO IL D.LGS. 116/2020				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Formazione specifica dei lavoratori art. 37 D. Lgs. 81/08	FAD	4	2	TUV AUSTRIA
Progetto formativo: REGOLE DELL'ARTE NELLA FIRE ACADEMY				
Corso	Modalità	Durata [ore]	UdP	Formatore
Corso di aggiornamento per lo svolgimento della funzione di RSPP e ASPP ex art. 32 D.Lgs. 81/08 e ASR del 7 luglio 2016	FAD	3	1	EBAFOS

6 – LE RISORSE DI BILANCIO

I ricavi dell'esercizio sono riassunti nella seguente tabella.

Valore della produzione	Anno 2021
1 Ricavi e proventi per l'attività istituzionale	3.333.639
2 Variazioni delle rimanenze di prodotti in corso di lavorazione, semilavorati e finiti;	-
3 Variazioni dei lavori in corso su ordinazione;	-
4 Incrementi di immobilizzazioni per lavori interni	-
5 Altri ricavi e proventi, con separata indicazione dei contributi in conto esercizio	34.274.631
Totali	37.608.270

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

- Proventi da attività di certificazione: euro 1.798.174
- Proventi da ricerche commissionate: euro 1.535.464

Rispetto all'esercizio precedente, entrambe le voci registrano un incremento, particolarmente rilevante per ciò che concerne le ricerche commissionate (+60%).

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

Descrizione	Anno 2021
Altri ricavi e proventi	2.996.216
Trasferimenti correnti da MUR (FOE)	20.502.878
Trasferimenti correnti da MUR (valenza internazionale)	3.780.000
Assunzioni straordinarie	776.651
Stabilizzazioni	1.690.000
Concorsi giovani ricercatori	214.960
Fondo emergenze COVID (contributi c/e)	120.000
Trasferimenti correnti da altri Ministeri	97.008
Proventi da ricerche con finanziamenti competitivi da EURAMET	2.425.889
Proventi da ricerche con finanziamenti competitivi	1.585.704
Contributi agli investimenti	85.325
Totale	34.274.631

Per un dettaglio circa la composizione delle singole voci si rimanda alla Nota integrativa al bilancio consuntivo. Tuttavia, sono sicuramente da evidenziare, anche in questa sede, l'incremento del FOE per le attività a valenza internazionale, per 2.530.000 euro destinati alla nuova partnership metrologica, nonché le risorse assegnate dal MUR per l'assunzione di nuovo personale.

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

Costi della produzione	Anno 2021
Materie prime, sussidiarie, di consumo e merci	880.150
Costi per servizi	5.960.171
Costi per godimento di beni di terzi	529.546
Spese per il personale	14.696.629
Ammortamenti e svalutazioni	4.494.093
Variazioni delle rimanenze di materie prime, sussidiarie di consumo e di merci	-
Accantonamenti per rischi	49.821
Altri accantonamenti	4.460.476
Oneri diversi di gestione	984.997
Totale	32.055.883

I costi di esercizio risultano complessivamente aumentati di circa il 10,8% rispetto al 2020. Gli aumenti più significativi si registrano sugli accantonamenti, per via dell'accantonamento integrale dei 2,5 milioni della quota di FOE di valenza internazionale destinata alla nuova partnership sulla metrologia EMP, nonché, come per l'esercizio precedente, sul personale, sul godimento di beni di terzi e sugli ammortamenti, che compensano invece una riduzione sui costi per materiale di consumo e oneri di gestione.

A questi si aggiungono 932.101 euro di imposte sul reddito dell'esercizio. Gli utili e perdite su cambi ammontano invece a -3.575 euro.

Complessivamente, nell'esercizio 2021 è stato conseguito un **utile** pari a **4.616.712 euro**.

Per quanto concerne invece gli **investimenti**, nell'anno 2021 si evidenzia il completamento dell'infrastruttura IMPreSA, finanziata con il cofinanziamento della Regione Piemonte (bando INFRA-P) per 818.000 euro, nonché quello del progetto "Dispositivi quantistici per le unità di corrente elettrica e fotometrica", avviato nel 2015 con il cofinanziamento della Compagnia di San Paolo, per 793.000 euro.

Nell'anno 2021 sono stati inoltre capitalizzati i costi per la ristrutturazione delle Palazzine O-B, sempre legati ai progetti INFRA-P, che hanno incrementato il valore dei fabbricati per 2.047.856 euro.

7 – LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

7.1 - EURAMET – EUROPEAN PARTNERSHIP ON METROLOGY (EPM)

Obiettivi: integrazione europea e finanziamento della ricerca metrologica.

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

EURAMET gestisce il programma di ricerca inquadrato in Horizon 2020 European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) i cui progetti termineranno nel 2024, a cui si è affiancato l'European Partnership on Metrology (EPM) inquadrato in Horizon Europe. Entrambi i programmi sono co-finanziati dall'Unione Europea e dagli stati aderenti attraverso l'art. 185 del trattato europeo di Lisbona. Il programma EMP promuove la ricerca e lo sviluppo nel campo della scienza delle misure (anche per applicazioni nei settori emergenti dell'energia, ambiente e salute) per l'integrazione dei laboratori nazionali e l'innovazione di prodotti e processi di produzione. Attualmente il processo di adesione alla Partnership non è ancora concluso, aderiscono comunque la maggior parte degli istituti metrologici europei, non limitatamente agli stati membri delle UE.

INRiM coordina la partecipazione italiana al programma EPM. Il valore di EPM è circa 650 M€: 350 M€ da risorse nazionali (questa cifra potrà ancora subire significative variazioni al rialzo a seguito della formalizzazione dell'adesione alla partnership di stati quali ad esempio UK e Svizzera) e 300 M€ dall'Unione Europea. Oltre il 30% del finanziamento comunitario è destinato alla partecipazione di industrie, università e istituti di ricerca non metrologici. Il valore del cofinanziamento nazionale italiano alla Partnership è pari a 49M€. Un significativo incremento rispetto alla cifra stabilita a suo tempo per il programma EMPIR.

Gli obiettivi del programma EPM sono: i) sviluppare conoscenze e soluzioni appropriate e integrate atte promuovere l'innovazione e la competitività attraverso la ricerca fondamentale e quella industriale; ii) sviluppare tecnologie di misura indirizzate alle sfide poste dai problemi della doppia transizione (ecologica e digitale) e della salute; iii) creare un sistema di ricerca integrato con adeguata massa critica e impegni a livello nazionale, europeo e internazionale; iv) realizzare infrastrutture metrologiche europee per fare fronte alle nuove aree di sviluppo metrologico; v) fornire un fondamento metrologico al sistema normativo e regolamentare europeo.

Attività svolta

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

Risultati ottenuti

Nell'ambito della prima call programma EPM, ricercatori INRiM hanno partecipato alle varie fasi della formulazione di progetti di ricerca sulle tematiche previste per il 2021 (Green Deal e Normative). INRiM ha ottenuto finanziamenti per circa 1.5 M€, e il coordinamento di due progetti di ricerca.

7.2 - EURAMET – EUROPEAN METROLOGY NETWORKS (EMN)

Nel corso del 2021, l'INRiM ha contribuito allo sviluppo delle attività di sette 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. In particolare, nel corso dell'anno l'Istituto ha ampliato la sua partecipazione diventando membro della "EMN on Energy Gases" e partecipando alla costituzione della nascente "EMN for Advanced Manufacturing".

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

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

EMN QUANTUM TECHNOLOGIES

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



Nel corso del 2021 la EMN-Q ha preparato una prima bozza completa della sua Strategic Research Agenda. E' in corso una analisi strategica in collaborazione con EURAMET per capire come massimizzare l'impatto e l'interesse della comunità scientifico-industriale su questa bozza. L'obiettivo è ottenere commenti e suggerimenti migliorativi per la Strategic Research Agenda ma anche aumentare la notorietà dell'EMN-Q presso la comunità Quantum.

La Strategic Research Agenda si basa su Roadmap tecnologiche coerenti con i "pillars" della EC Quantum Flagship sviluppate all'interno delle tre sezioni dell'EMN-Q (Quantum Clocks and Atomic Sensors; Quantum Electronics; Quantum Photonics). Queste Roadmap sono state presentate e discusse con la comunità che sviluppa le tecnologie quantistiche, in particolare con i Technical Committee di EURAMET interessati e con i membri dell'EMN-Q Stakeholder Advisory Board.

Il Communication Working Group dell'EMN-Q ha sviluppato un mock-up del portale web e sta cominciando ad immaginare come potrebbe essere una eventuale newsletter.

Il progetto EMPIR 19NET02 "EMN-Quantum" (coordinato dall'INRiM) che ha come obiettivo finanziare la fase iniziale di sviluppo e di messa in piena operatività della EMN-Q. Inoltre, cominciato nel giugno 2020, è pienamente operativo e contribuisce all'avanzamento dello sviluppo dell'EMN-Q in modo estremamente efficace.

EMN SMART ELECTRICITY GRIDS



La transizione del sistema energetico verso la neutralità carbonica comporta un sostanziale incremento dell'utilizzo di energia da fonti rinnovabili e una crescente elettrificazione dei consumi energetici. Alle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica si richiede quindi di assicurare qualità e stabilità della fornitura, in un contesto caratterizzato da forte discontinuità e imprevedibilità dell'energia immessa e assorbita dalla rete. In quest'ambito, la European Metrology Network Smart Electricity Grids (EMN SEG), costituita da 21 enti tra istituti metrologici nazionali e designati e università, sta sviluppando le prime azioni finalizzate a rispondere in modo coordinato ed esaustivo alle sfide metrologiche conseguenti alla transizione energetica, in termini di miglioramento della qualità e efficienza delle reti elettriche e di integrazione dei sistemi per la digitalizzazione dell'infrastruttura. In particolare nel 2021, nell'ambito della definizione di una Strategic Research Agenda (SRA) e a valle della circolazione di un questionario tra gli stakeholders riguardante le problematiche di maggiore interesse e le sfide in ambito metrologico da affrontare nell'arco del prossimo decennio, sono stati organizzati tre Workshop indirizzati agli stakeholders della EMN (gestori di reti di trasmissione e distribuzione dell'energia, enti normatori, costruttori di strumenti e sistemi, ..). La discussione, stimolata da relazioni su invito, ha riguardato le reti in tensione continua e i test in alta tensione, la trasformazione digitale delle reti e la cybersecurity, e le misure e la modellazione dei segnali nelle reti di potenza.

Con riferimento all'ottimizzazione e integrazione delle risorse degli istituti metrologici europei, è in corso l'elaborazione delle informazioni raccolte, atte a fornire un quadro sia delle attuali capacità di misura (CMC) degli NMI nell'ambito specifico, sia delle CMC di cui si prevedono lo sviluppo e l'implementazione nei prossimi anni.

È stato infine messo a punto un corso di eccellenza riguardante le misure e la metrologia per le Smart Grids, rivolto principalmente a studenti dei corsi di dottorato e giovani ricercatori, che si terrà nella primavera del 2022.

EMN FOR CLIMATE AND OCEAN OBSERVATION



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

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

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

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

Al fine di massimizzare l'impatto e fornire un unico ed efficace punto di contatto nei settori di pertinenza, i partecipanti all'EMN hanno condotto un lavoro di identificazione preliminare dei principali *stakeholder*, sia a

livello globale per l'intera rete, sia all'interno di ciascuno dei tre pilastri tematici. Un'indagine dedicata a tutti i membri delle comunità attive nei settori del clima e delle osservazioni oceaniche ha permesso di identificare le necessità e le priorità.

Nel corso del 2021 sono stati organizzati eventi a carattere generale della rete, ai quali l'INRiM ha garantito una attiva partecipazione. In aprile 2021 si è tenuta una serie di *Workshop* sulla *Strategic Research Agenda* sulla base dei tre pilastri della rete rivolti ai membri della rete. Il 17 giugno 2021 è stata organizzata l'assemblea generale dell'EMN (*Annual General Meeting*). Tutti gli eventi si sono tenuti in modalità online data l'emergenza pandemica legata al Covid-19.

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

EMN FOR MATHEMATICS AND STATISTICS

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

- costituire un punto di riferimento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo, incentivando la collaborazione all'interno di progetti scientifici e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni, convegni dedicati e materiale didattico.
- ottemperare agli impegni previsti nell'ambito del progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della rete.
- svolgere attività di ricerca, formazione e consulenza sui temi di pertinenza della rete.

Nel contesto del progetto EMPIR 18NET05, l'INRiM ha continuato a partecipare alla selezione e consultazione dei principali utenti scientifici, accademici ed industriali della rete, alla redazione di una prima bozza di agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca e allo sviluppo di un sistema di gestione per assicurare la qualità di dati, codici di calcolo e linee guida. Inoltre, a partire dalla sua costituzione, l'istituto ha ricoperto una posizione all'interno dello *steering committee* della rete, partecipando ai lavori del comitato stesso.

Nell'ambito delle attività di formazione e disseminazione di competenza della rete, l'INRiM ha organizzato, in collaborazione col Politecnico di Torino, la seconda edizione del workshop "*Mathematical and Statistical Methods for Metrology*" ([MSMM 2021](#)), tenutosi in modalità virtuale il 31/5 ed il 1/6. L'evento, congiuntamente promosso dalla *European Network for Business and Industrial Statistics* (ENBIS) e da MATHMET, ha offerto sessioni organizzate (61 presentazioni orali e 8 poster) su svariati argomenti di matematica e statistica per la metrologia (*uncertainty evaluation, machine learning for metrology, digital twins and virtual experiments, inverse problems, methods for sensor calibration, designs of measurement experiments, flow simulations*) e su specifiche tematiche relative a progetti EMPIR di pertinenza (EMUE, RaChy, QUIERO, MATHMET). Il numero totale di partecipanti ha superato le 120 persone, in collegamento da tutto il mondo e dai più svariati ambiti lavorativi (NMI, università, industrie, istituti di ricerca, enti di accreditamento).



A ottobre 2021, inoltre, è stata avviata l'attività di rete "[Measurement uncertainty training](#)", proposta dal PTB e finalizzata al miglioramento della qualità, efficienza e disseminazione di attività formative sul tema della valutazione dell'incertezza di misura. L'INRiM ha avviato, all'interno del consorzio, una *survey* di corsi e *software* per la valutazione dell'incertezza, occupandosi anche di reclutare *stakeholders* e promuovere l'attività a livello europeo (INRiM ricopre il ruolo di leader del Work Package sull'impatto).

Inoltre, si è continuata l'attività di tutoraggio rivolta a studenti di vario livello e sono stati erogati diversi corsi di formazione. Sul piano della ricerca, sono state svolte numerose attività scientifiche e tecniche in ambito matematico, statistico e modellistico, censite nelle schede dei SSO sulla base dell'afferenza del personale coinvolto.

I risultati ottenuti nel 2021 sono i seguenti:

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

EMN ON TRACEABILITY IN LABORATORY MEDICINE

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



La EMN si incontra ogni 15 giorni, per circa 2 ore, al fine di lavorare e progredire in modo condiviso. Tutti i partner sono partecipanti attivi dei meeting: PTB, BAM, NPL, NML, NIBSC, LNE, TÜBITAK, EXHM, VSL, METAS ed INRiM. Nella seconda metà dell'anno 2021 MIRS/NIB/FITO, NMI e DI sloveni, si sono aggiunti come nuovi membri alla EMN firmando il MoU. I membri sono divisi in sottogruppi di lavoro per affrontare diverse tematiche tra cui:

- Stakeholder survey
- Demonstrator Comparison
- Notified bodies engagement campaign

I membri procedono separatamente ma confrontandosi sempre tra loro e contribuendo tutti attivamente a creare documenti condivisi. INRiM partecipa attivamente alle attività della EMN su vari fronti.

I membri utilizzano da sempre uno sharepoint in attesa di sviluppare un website, sviluppo al momento in fase iniziale.

Nel 2021, terzo anno di attività della EMN, si è lavorato molto per creare la Stakeholder survey, un sondaggio dal titolo "Online Survey on European NMIs and DIs' strategy related to Laboratory Medicine" indirizzato agli Stakeholder per sostenere la EMN TraceLabMed a comprendere meglio le attività di ricerca degli NMI e dei DI europei e l'attuale coinvolgimento nei loro sistemi sanitari nazionali, a plasmare Strategic Research Agenda della EMN e ad identificare le esigenze degli Stakeholder non ancora soddisfatte.

Lo scopo del sondaggio è avere un quadro più ampio delle interazioni con i principali Stakeholder e il loro coinvolgimento nella comunità metrologica perché questo alimenterà lo sviluppo della EMN: le strategie e le priorità nazionali esistenti e la partecipazione a progetti di ricerca attuali e futuri sono la base per un'identificazione delle necessita urgenti degli Stakeholder in termini di metodi di misura di riferimento. Al termine della consultazione con i vari stakeholder (Istituti Nazionali Europei di Metrologia e Istituti Designati con standard in metrologia per la chimica), nel 2022 sarà prodotto un documento riepilogativo che evidenzierà quali sono gli istituti attualmente attivi nel campo della medicina di laboratorio e che prevedono di espandere le proprie attività in larga misura.

La EMN ha inoltre lavorato per organizzare due workshop, entrambi in modalità on line: uno dal titolo "Workshop on Measurement Challenges - SARS-CoV2 and Future Pandemics" che ha luogo il 4 novembre 2021 e uno dal titolo "Workshop on Measurement Challenges – laboratory medicine" che ha luogo il 10° novembre.

In luglio, per una giornata intera, viene organizzato l'Annual General Meeting che solitamente vede tra i

partecipanti più di un membro per ogni NMI e anche alcuni Stakeholder, come Ref4U, INSTAND, RfB, WEQAS e alcuni rappresentanti di EURAMET. Nel luglio 2021 vengono anche discusse e riepilogate tutte le attività del JNP18NET02 TraceLabMed. Tra le altre cose, viene deciso che l'attività JNP A1.3.2 relativa all'organizzazione di workshop, sarà proseguita con un nuovo seminario, nell'inizio del 2022, incentrato sulla preparazione della Call Health 2022 di EURAMET al fine di avere una partecipazione più strutturata e collaborativa tra i vari NMI.

EMN ON ENERGY GASES

Finalità e obiettivi

Poiché l'approvvigionamento energetico condiziona la stabilità, la crescita e il benessere dei cittadini, l'Europa ha intrapreso un ambizioso percorso di riduzione della dipendenza energetica dai paesi extra-Europei e al contempo di decarbonizzazione della propria produzione di energia. Considerata la complessità del progetto, il Green Deal, promosso dalla Commissione Europea, prevede, quindi, un periodo di circa 30 anni per completare la transizione prevedendo la collaborazione delle più grandi industrie coinvolte nel settore.



La European Metrology Network for Energy Gases (coordinata dal VSL), a cui l'INRiM ha di recente aderito, ha il preciso scopo di diventare il punto di riferimento per la necessaria certificazione di quelle misure che sono tanto complesse da non essere alla portata dei singoli Stati Membri. Questa rete metrologica prevede di supportare, in modo coordinato, gli organismi governativi, quelli internazionali di normazione, i produttori di strumentazione e gli utilizzatori finali che sono coinvolti in questo nuovo corso.

Contenuto tecnico scientifico

L'attuale disponibilità di procedure di taratura e misura per la strumentazione impiegata nella distribuzione del gas naturale è il risultato di un processo di affinamento durato poco meno di un secolo ed è costruita su una solida base di misure sperimentali. Il nuovo sistema di approvvigionamento, invece, prevede forniture più eterogenee che comprenderanno principalmente biogas, idrogeno, metano sintetico, gas fossile arricchito di idrogeno e il trasporto e stoccaggio dell'anidride carbonica. Questo contesto, più complesso del precedente, richiede una nuova base di misure più approfondita ed estesa. Il Metrology Network for Energy Gases stabilisce delle priorità tra le attività di ricerca in modo tale che i risultati ottenuti siano i più utili al momento per gli organismi di normazione e per i produttori di strumentazione.

Le attività tecnico scientifiche svolte dal network si possono riassumere in:

1. Elaborazione un programma di ricerca (*Strategic Research Agenda*) mirato a supportare il processo di transizione che sia condiviso tra i collaboratori della rete, siano essi industriali, governativi oppure organismi di normazione;
2. Promozione della disseminazione delle nuove procedure di misura e delle esperienze maturate durante lo svolgimento di attività innovative di ricerca scientifica e tecnologica;
3. Costituzione di una struttura organizzativa capace di prevedere le problematiche metrologiche connesse alla transizione e di proporre tempestivamente le necessarie soluzioni;
4. Produzione e diffusione della documentazione necessaria al rinnovo del quadro normativo internazionale, in collaborazione con le organizzazioni deputate.

Per accelerare il raggiungimento di alcuni risultati più urgenti, l'EMN Energy Gases ha appoggiato la proposta "Metrology for decarbonising the gas grid" finanziata per tre anni da EURAMET a partire dal mese di giugno 2020 attraverso il programma EMPIR, che prevede di offrire:

1. Nuovi standard primari necessari alla disseminazione delle misure flussimetriche in contesti che prevedono l'impiego di idrogeno, biometano, gas naturale arricchito di idrogeno e in contesti di trasporto, cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica;

2. L'estensione della capacità di misure della composizione in miscele ricche di idrogeno, biometano e anidride carbonica, come richiesto dalla ISO 14687 (GRADE A), EN 16723-1 and ISO/TR 27921;
3. Nuove misure sperimentali di proprietà termofisiche, come la densità, la velocità del suono e il contenuto energetico di quelle miscele necessarie per migliorare i modelli normati impiegati nell'ambito delle misure di flusso; modelli che oggi risultano inadatti ad operare con le miscele più complesse;
4. L'occasione per i laboratori commerciali di confrontarsi direttamente con i laboratori primari per verificare le effettive capacità di misura nel contesto della transizione energetica e ottenere l'accreditamento secondo la ISO 17025.

EMN FOR ADVANCED MANUFACTURING

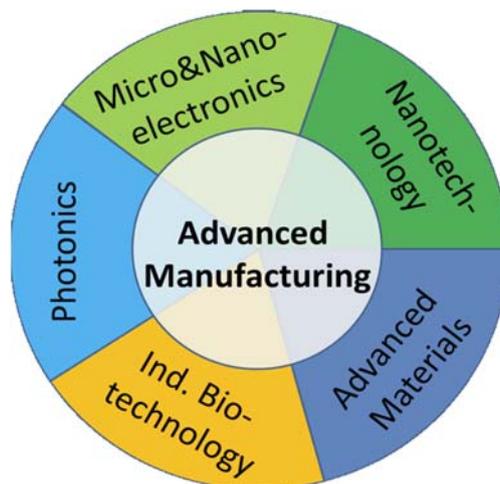
Finalità e obiettivi

La EMN on Advanced Manufacturing (EMN-AdvanceManu) è stata approvata dall'Assemblea Generale di Euramet a giugno 2021; essa è dunque nelle sue prime fasi di vita, dirette innanzi tutto alla costituzione formale. La stessa composizione della EMN è in evoluzione, man mano che gli Istituti interessati sottoscrivono il MoU (*Memorandum of understanding*) per aderire. Del pari, non sono ancora stabiliti i funzionari della EMN, Presidente, Vicepresidenti e Segretario, la cui elezione è prevista a breve.

La manifattura avanzata è stata riconosciuta dalla CE come una delle sei KET (*Key Enabling Technology*). Il suo ruolo pare fondamentale per l'economia europea dei prossimi lustri. La manifattura avanzata, come e di più di quella più tradizionale, ha grande necessità di metrologia; in alcuni settori, la capacità produttiva è limitata proprio da quella di misura e controllo. Sono molti i settori industriali in cui la manifattura avanzata si manifesta, dalla tradizionale produzione meccanica a quella elettronica, dalle nanotecnologie alla scienza dei materiali.

Lo scopo della EMN è quello di creare una rete europea stabile e sostenibile fra istituti di metrologia, altri enti di ricerca, università, e realtà industriali soprattutto innovative, per affrontare le sfide che la manifattura avanzata pone; fra queste, di grande rilievo sono quelle legate alla sostenibilità ambientale: la normazione cogente aiuta *obbligando*, ma tocca alla scienza e ricerca aiutare *proponendo* soluzioni praticabili e attraenti. Si vogliono affrontare e dare risposte metrologiche adeguate ai bisogni provenienti da tutti i settori industriali, a partire da quelli di provenienza dei membri attuali.

La EMN è aiutata nel suo avvio dal progetto EMPIR 19NET01 AdvManuNet, al secondo dei suoi quattro anni di durata.



Le sei KET (Key Enabling technology) individuate dalla CE (2009).

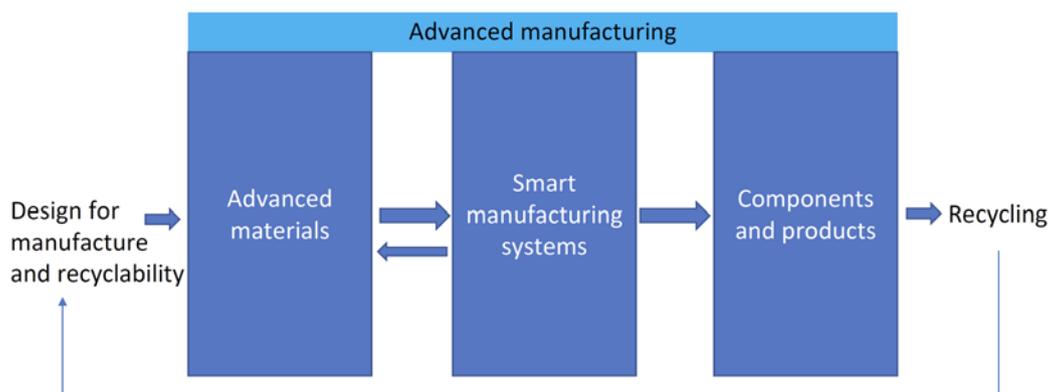
La visione della EMN è che la manifattura avanzata sia centrale anche per le altre KET.

Contenuto tecnico scientifico

Per facilitare la gestione, data l'ampiezza e trasversalità dei settori industriali d'interesse per la manifattura avanzata, la EMN è suddivisa in tre Sezioni:

1. Advanced Materials
2. Smart Manufacturing Systems
3. Manufactured Components and Products

Questa suddivisione vuole rispecchiare il ciclo di vita dei prodotti: a partire da materiali innovativi, attraverso sistemi di produzione *smart* si ottengono componenti e prodotti avanzati.



Fasi del ciclo di vita e corrispondenza con le Sezioni della EMN.

Grande importanza viene attribuita alla sostenibilità del processo.

Il primo e più importante risultato che dovrà conseguire la EMN è la scrittura della SRA (*Strategic Research Agenda*). Essa disegnerà un affresco della domanda di metrologia nella manifattura avanzata, con l'obiettivo di orientare la ricerca nel settore. La SRA sarà di grande importanza non solo per la EMN stessa, ma anche come fonte autorevole di orientamento delle prossime chiamate a progetti del programma *Metrology Partnership*, in particolare delle chiamate *Industry*.

7.3 - GALILEO TIMING RESEARCH INFRASTRUCTURE

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

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

Tale infrastruttura costituisce:

- 1) una struttura di riferimento metrologico per la validazione e monitoring in tempo reale del segnale di Galileo, degli orologi di bordo e di terra, della scala di tempo di riferimento del sistema, e dell'informazione di ora esatta disseminata dai satelliti Galileo;
- 2) un incubatore e "test bed" per algoritmi, elementi di timing di terra e di bordo, servizi con dimostrazione e validazione end-to-end, l'aggiornamento tecnologico del sistema, lo sviluppo di applicazioni tecniche

e scientifiche;

- 3) un centro di formazione e addestramento sia a livello scientifico (con un programma di Dottorato ed un Master di II livello del Politecnico di Torino), sia a livello industriale.

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

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

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

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

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

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

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



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

Studio e sperimentazione di servizi di disseminazione dell'ora esatta

INRiM ha coordinato nel 2015-2016 il progetto DEMETRA, progetto dell'Agenzia Europea per i Sistemi di

Navigazione Satellitare. Con DEMETRA, l'INRiM ha realizzato il primo dimostratore europeo per la fornitura di servizi di tempo basati sul segnale Galileo. Galileo infatti, oltre a fornire informazioni di posizione fornisce anche l'ora esatta che diffonde ai suoi utenti attraverso il messaggio di navigazione. Alcuni dei 9 servizi di tempo sperimentati sono attualmente attivi ed operativi presso INRiM, in particolare: il servizio di disseminazione in fibra ottica, grazie al quale INRiM fornisce il tempo alla Borsa Italiana, e il servizio di taratura e monitoraggio di ricevitori multi-GNSS di timing, grazie al quale INRiM garantisce un controllo in tempo reale dei dati ricevuti dall'utente rispetto all'ora esatta italiana UTC(IT).



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

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

7.4 - 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.

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

IQB ha distribuito segnali di riferimento degli orologi



atomici dell'INRiM con tecniche coerenti e per i segnali di time-stamping anche in modulazione di ampiezza (PTP e White Rabbit-PTP); la ricerca elabora metodi innovativi, in particolare in coesistenza con le tecniche di trasmissione ottica dei dati, in particolare tramite la collaborazione con Politecnico di Torino, Fondazione Links di Torino. Le radiazioni laser ultrastabili, il controllo del rumore di fase ottico sulla fibra e del rumore di polarizzazione permettono anche di supportare distribuzioni quantistiche di entanglement e QKD, oltre a sviluppare la sensoristica quantistica e classica (geodesia relativistica, sismologia). LIFT/IDQ è idonea per la ricerca e la distribuzione di singoli fotoni anche a lunga distanza, con i primi risultati pubblicati nel 2019.

Nel 2021, nonostante la pandemia abbia largamente fermato le attività sul territorio, LIFT/IDQ ha continuato la collaborazione nell'iniziativa della Commissione Europea di una European Quantum Communication Infrastructure¹. LIFT/IDQ inoltre continua a pubblicare i primi risultati su QKD e distribuzione di entanglement in collaborazioni internazionali con Austria, Malta, e Italia². Inoltre, è stato completato il primo esperimento su IDQ che usa la tecnica di TF-QKD per scambiare chiavi quantistiche a lunga distanza (qui circa 200 km)³. Questa tecnica permette la convergenza tra la distribuzione di segnali coerenti T/F e la QKD, garantendo un uso contemporaneo di IQB per queste due finalità.

Nel 2021 si sono consolidati i risultati del collegamento fra i due maggiori radiotelescopi italiani a Medicina e Matera.⁴ Sono inoltre continuate le campagne di VLBI geodetico con "common clock" portato da IQB. Inoltre, il collegamento LIFT con la stazione VLBI di Medicina, ha permesso il primo confronto internazionale con fibra ottica e radioastronomia (tra gli orologi ottici di INRiM e NICT in Giappone).

Nel 2021, l'infrastruttura di ricerca è stata operativa su tutti i 1850 km, dal confine francese a Matera, passando per Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli. Sono stati potenziati i livelli di controllo e automazione, che permettono oggi un utilizzo dell'infrastruttura di ricerca per tempi estesi e in contemporanea a molti utenti, oltre alla compresenza di applicazioni differenti.

7.5 - NANOFACILITY PIEMONTE

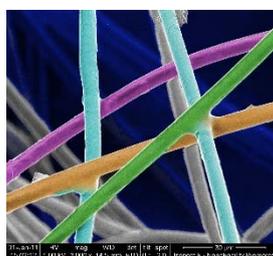


Immagine al microscopio elettronico di una rete di nanofili d'argento utilizzata per applicazioni di computazione neuromorfa. Segnali elettrici applicati alla rete permettono di emulare i processi di plasticità sinaptica tipici delle reti neurali biologiche.

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

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

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

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

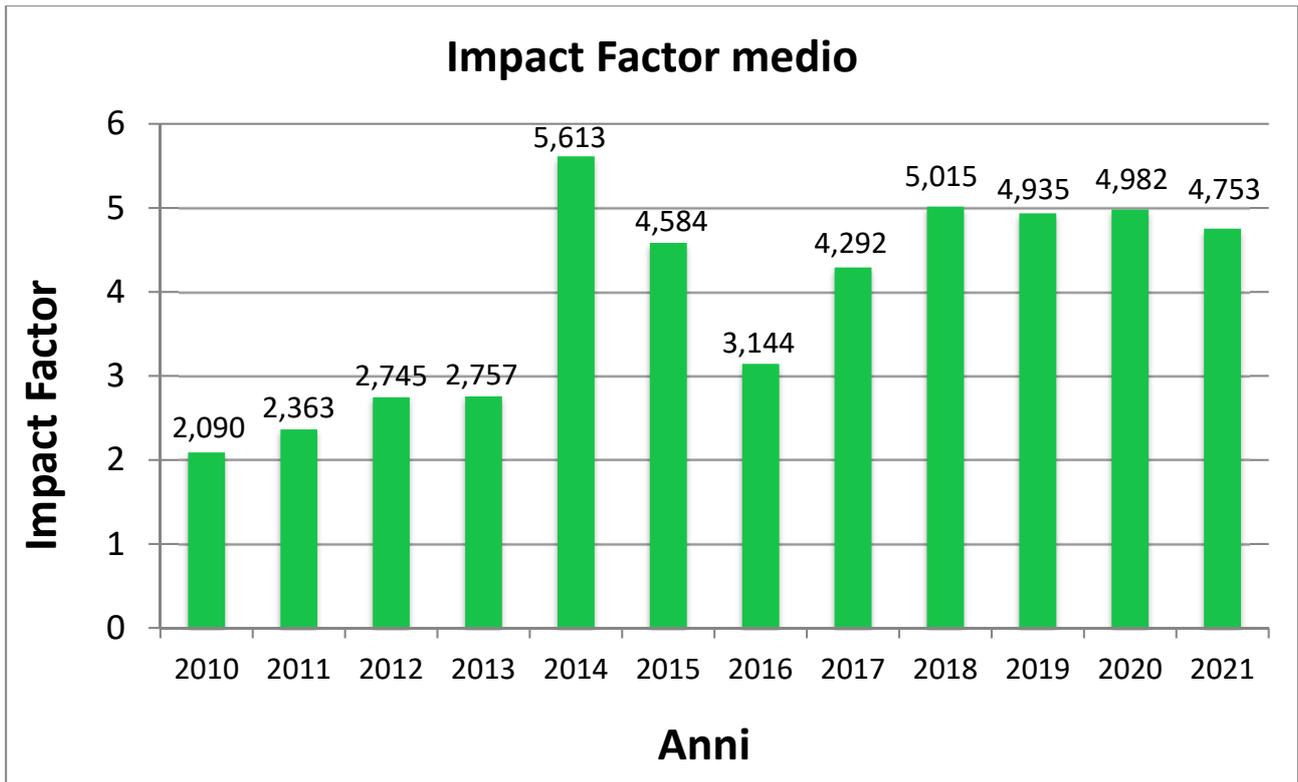
⁴ C. Clivati, et al., "Common-clock very long baseline interferometry using a coherent optical fiber link", *Optica*, 7, 1031-1037 (2020)

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

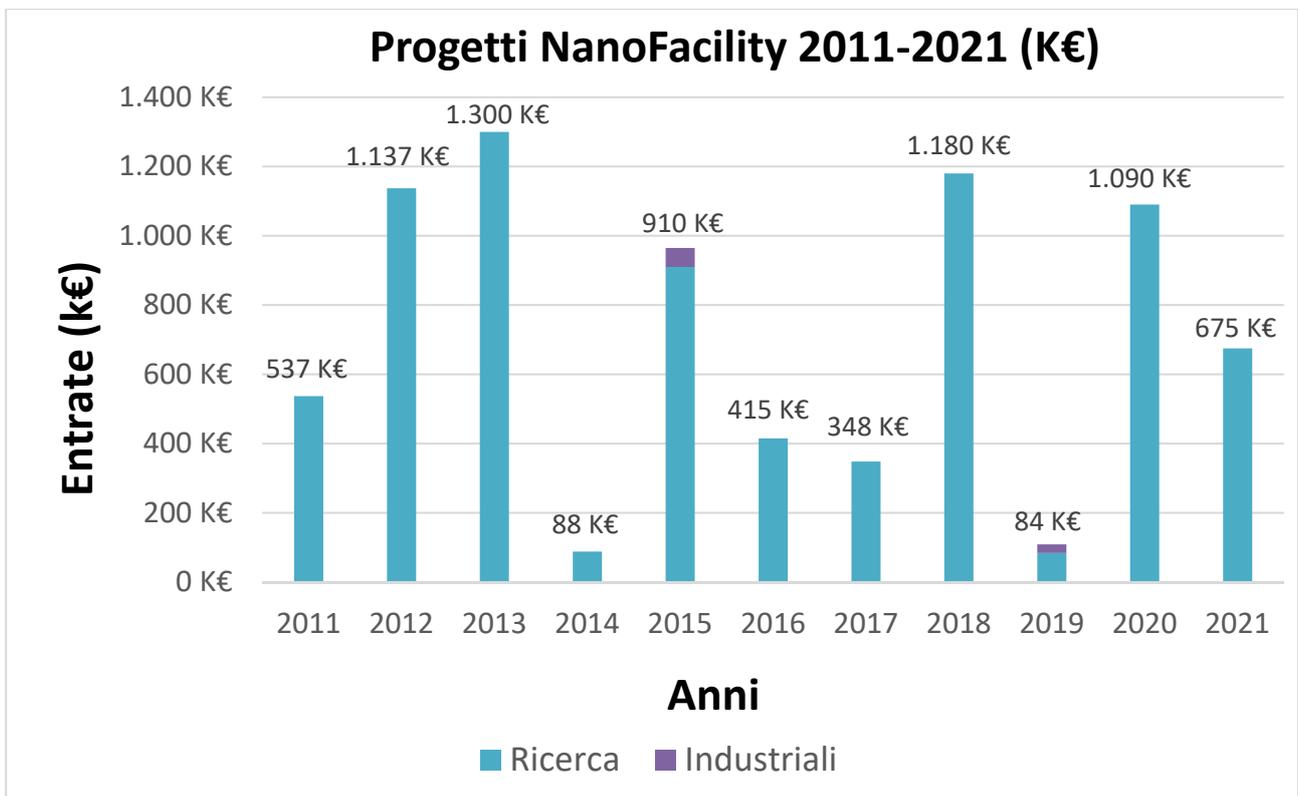
In questi ultimi anni, l'impegno del personale INRiM e delle risorse di micro e nanofabbricazione di Nanofacility nei progetti EMRP e EMPIR ha ottenuto un impatto di alto livello sulla comunità metrologica europea. Da questo, ne è conseguita una forte richiesta da parte dei principali NMI europei nella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

Alcuni indicatori: i successivi tre grafici riassumono alcuni indicatori significativi dell'impatto del laboratorio Nanofacility Piemonte INRiM nel periodo 2010-2021. Il numero di pubblicazioni scientifiche internazionali che espressamente citano il laboratorio e la Compagnia di San Paolo, l'impact factor delle riviste su cui i manoscritti sono stati pubblicati, che è legato alla diffusione e alla citazione internazionale, e ai fondi che sono stati conseguiti mediante progetti nazionali ed europei che prevedevano l'utilizzo del laboratorio.





Il grafico seguente mostra le quote di tutti i progetti conseguiti dagli utenti della Nanofacility negli 11 anni di attività del laboratorio.



7.6 - PIEMONTE QUANTUM ENABLING TECHNOLOGIES (PIQUET)



Nel 2021 ha cominciato a operare l'Infrastruttura di Ricerca Piemonte Quantum Enabling Technologies, PiQuET, coordinata da INRiM con la partecipazione di Politecnico (PoliTO) e Università (UniTO) di Torino, nata con il 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 hanno firmato una convenzione quadro a tre per stringere una forte sinergia intorno all'IT Piquet per il potenziamento delle competenze nelle Tecnologie Quantistiche e nella micro-nanofabbricazione con lo sviluppo di materiali, dispositivi e sensori micro/nanostrutturati, e la metrologia "on chip", per offrire alla metrologia linee di ricerca innovative come per esempio interferometri microstrutturati, nanotermometri, orologi atomici miniaturizzati, e in generale le piattaforme di fotonica integrata del silicio, le tecnologie di singolo fotone basate su effetto Josephson e i materiali superconduttori, nei centri di colore in diamante e più in generale i materiali dielettrici, le tecnologie Micro e Nano Electro Mechanical Systems (MEMS, NEMS).

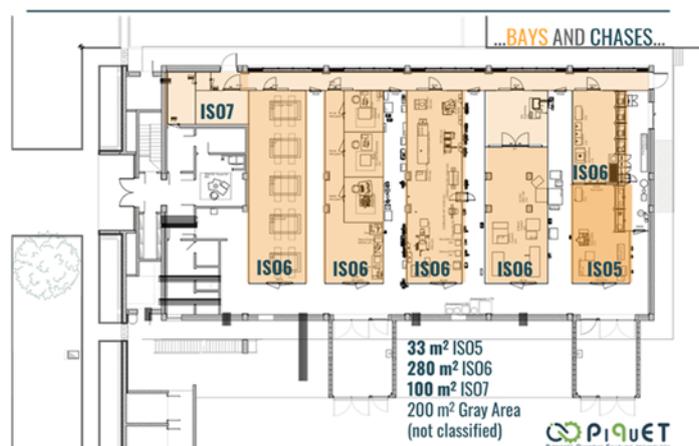
PiQuET offre un'IR moderna, centralizzata e condivisa per la nanofabbricazione di sensori, dispositivi e materiali e la loro integrazione; un'IR sul territorio per la metrologia e la comunicazione quantistica, che si avvale del polo di nano fabbricazione; la collaborazione tra Centri di ricerca e industria, favorendo un forte trasferimento tecnologico.

Elemento centrale di PiQuET è l'impianto di camera pulita (6 ambienti ISO6, 1 ambiente ISO5, ambienti tecnici) ad alto controllo della qualità ambientale e dei contaminanti, secondo i moderni criteri ISO 14644-1, completata a fine 2020 e avviata nel 2021.

La camera pulita si compone di 400 m² in ambiente a controllo particellare (33 m² ISO5, 280 m² ISO6, 100 m² ISO7) e 200 m² circa in ambiente "grigio" per collocare le macchine tecniche (per es. sistemi di pompaggio per il vuoto) e svolgere manutenzioni. L'ambiente a controllo classificato è diviso in aree funzionalizzate: Tecnologie Quantistiche, Litografia Ottica, Litografia Elettronica, Deposizione, Etching, Packaging, Processi Chimici.

A partire dal 2022, Piquet avvierà le attività a regime, che prevedono ricerche applicate sulle

Tecnologie Quantistiche e un servizio di Trasferimento Tecnologico verso soggetti esterni, come aziende o collaborazioni accademiche. Le attività guarderanno non solo alle applicazioni metrologiche, ma anche alle applicazioni biomedicali e nel settore energetico, seguendo le linee di indirizzo espresse nel documento di vision dell'INRiM.



Piquet è parte del cluster IT-Fab, che si propone il coordinamento delle migliori realtà di nanofabbricazione in Italia; è censita nel Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricerca, sia come IR autonoma, sia come ITFab nella sua vocazione di ESFRI europea (EuroNanolab).

7.7 - INFRASTRUTTURA METROLOGICA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (IMPRESA)

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

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

INRiM come ente capofila del progetto ha messo a disposizione spazi e impianti per realizzare l'infrastruttura, e darà il supporto metrologico. INRiM coordina i diversi partecipanti del progetto (Istituto Zooprofilattico (IZSTO). Centro ricerca per l'enologia e viticoltura (CREA-VE) Istituto per la Prevenzione e la Salute delle Piante (IPSP-CNR) e Istituto di scienze delle produzioni alimentari (ISPA-CNR) sia dal punto di vista scientifico/tecnologico sia dal punto di vista finanziario, garantendo lo svolgimento del progetto e la verifica dei risultati ottenuti.

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

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

Nel corso del 2021 le attività tecnico - scientifiche relative ad IMPReSA sono state le seguenti:

- collaudo dello strumento GC-EA-IRMS: 25 Gennaio 2021 - 02 Febbraio 2021 sono avvenuti l'installazione e il collaudo dello strumento in oggetto da parte del tecnico addetto. La fornitura è stata consegnata in conformità al Capitolato tecnico richiamato nel contratto e in conformità e nel rispetto delle condizioni, modalità, termini e prescrizioni del contratto stesso. Il collaudo è stato effettuato utilizzando standard di Urea e Mix di Alcani C14+C15+C16 certificati come da procedura, con esito positivo, ed è stato fornito il documento di controllo. Il corso di familiarizzazione con lo spettrometro di massa è stato tenuto da personale specializzato nei giorni 28 Gennaio 2021 e 1-2 Febbraio 2021. Sono state verificate le prestazioni dello strumento utilizzando i gas He, CO₂, N₂ e O₂, che risultano essere conformi alle specifiche indicate dal fornitore, in entrambe le modalità di lavoro (EA e GC) di cui è equipaggiato lo strumento;
- collaudo AF4: lo strumento e il detector UV abbinato, sono stati consegnati ed installati il primo febbraio 2021 presso i locali di IMPReSA in conformità al capitolato tecnico richiamato nel contratto e nel rispetto delle condizioni, modalità, termini e prescrizioni del contratto stesso. E' stato quindi effettuato il collaudo da parte del tecnico addetto, utilizzando, come da procedura, standard di riferimento opportuni per la verifica del funzionamento dello strumento. A seguito della verifica positiva del collaudo è stato fornito un documento di controllo. Il training del sistema è stato svolto da personale specializzato dell'azienda ALFATEST ed ha riguardato le modalità di esecuzione delle analisi (impostazione delle prove, gestione dei flussi, acquisizione ed elaborazione dei risultati) nonché il funzionamento dei singoli moduli del sistema;
- stesura della relazione finale del progetto IMPReSA, per la rendicontazione del progetto a Finpiemonte

- con scadenza il 31 Marzo;
- messa a punto dello spettrometro NMR tramite intervento dei tecnici specializzati Broker;
- corsi di formazione base ed avanzata per l'utilizzo dello spettrometro NMR 600 MHz.

I corsi effettuati con lo specialista NMR della Bruker sono stati i seguenti:

1. 14-16 Aprile 2021: principi NMR, spettroscopia NMR ^1H ed eteronuclei (^{13}C , ^{15}N) soppressione del solvente e multisoppressione;
 2. 9-10 Giugno 2021: utilizzo del software ICON NMR della Bruker, per automazione degli spettri, spettroscopia NMR 2D;
 3. 23 Giugno: metabonomica e statistica;
 4. 28 Settembre 2021: quantitativa e software Smart Drive;
 5. 21 Dicembre 2021: software CMCa e CMCse.
- corso teorico e pratico relativo all'utilizzo dei Gas Tossici, che per quanto riguarda il personale afferente ad IMPReSA, ha visto impegnati C. Portesi, A.M. Rossi, M. Berruto e F. Durbiano. Il corso, tenuto dal Centro Sicurezza Applicato all'Organizzazione (CSAO) e della durata complessiva di 20 ore, si è tenuto tra gennaio e febbraio 2021 e si è concluso con un esame che ha permesso al personale di conseguire l'attestato di frequenza e profitto al corso di preparazione all'esame per il conseguimento della patente di abilitazione all'impiego di gas tossici.

Attività di ricerca:

- caratterizzazione e discriminazione di grappe in base alla tecnica di affinamento tramite spettroscopia ^1H NMR e applicazione di tecniche chemiometriche; il lavoro è stato fatto in collaborazione con il CREA (che ha preparato e fornito i campioni, e li ha caratterizzati tramite GC-MS) ed ha costituito la parte centrale del tirocinio curriculare della studentessa Angela Leggio, per la Laurea Magistrale in Chimica Industriale (Tutor accademico: Giuliana Magnacca, Tutor aziendale: Chiara Portesi);
- scrittura e sottomissione a valutazione comparativa di un progetto guidato dal CREA, nell'ambito del bando Erogazioni Ordinarie della Fondazione CRT, che prevede la partecipazione di INRiM; il progetto, dal titolo "Discriminazione mediante tecniche spettroscopiche avanzate di vini affinati in botte da quelli ottenuti mediante l'impiego di legni alternativi", è stato selezionato e finanziato dalla fondazione CRT con comunicazione in data 10/12/2021 e prevede l'utilizzo dello spettrometro NMR di IMPReSA;
- avviamento delle attività relative alla caratterizzazione di estratti di nocciola per l'identificazione di allergeni tramite UHPLC-HRMS, in collaborazione con CNR-ISPA; per lo svolgimento di questa attività è stato richiesto l'accesso come ricercatore ospite per le colleghe CNR Laura Cavallarin, Gabriella Giuffrida, Simona Cirrincione e Cristina Lamberti; su questa attività è stato avviato un dottorato con borsa finanziata dal CNR-ISPA, di cui è risultata vincitrice la studentessa Beatrice Aiuto;
- avvio della attività come assegnista di ricerca, in data 01/11/2021, di Consolato Schiavone, vincitore di un posto di dottorato senza borsa al Politecnico di Torino; l'assegnato di ricerca ha come titolo "Sviluppo e caratterizzazione di imballaggi alimentari attivi" e prevede lo svolgimento dell'attività presso il laboratorio di IMPReSA, per la caratterizzazione di composti organici (anche in tracce) in matrici alimentari ed imballaggi, tramite spettroscopia NMR e spettrometria di massa.

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

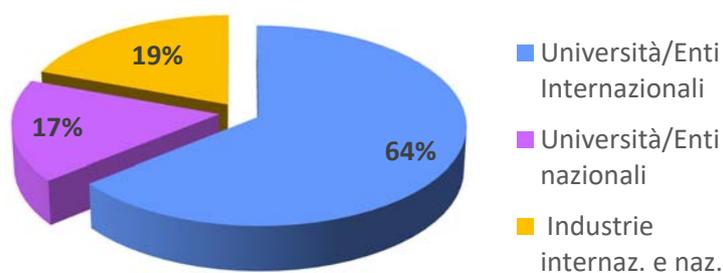
Nel 2021 l'INRiM ha registrato circa 200 collaborazioni, avviate con diverse tipologie di enti sia a livello internazionale che nazionale.

Si tratta di collaborazioni significative, che si sono consolidate attraverso la stipula di convenzioni/contratti formalizzati o tramite 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.

La tabella e il grafico a seguire riportano il numero e la percentuale degli enti, distinti per tipologia, con cui le collaborazioni del 2021 sono in essere, distinguendo tra Università ed enti internazionali, Università ed enti nazionali e industrie internazionali e nazionali. Il grafico evidenzia che una parte cospicua delle collaborazioni dell'Istituto si sviluppa sul versante estero.

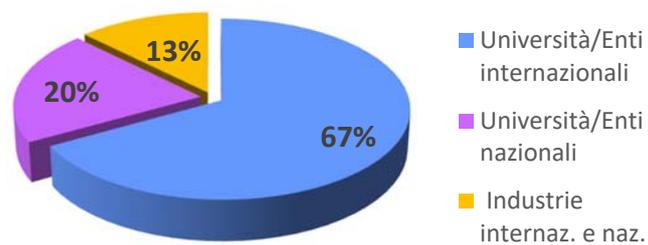
Tabella 1 – Gli enti con cui l'INRiM ha collaborato nel 2021

Tipologia di ente	TOTALI
Università ed enti internazionali	325
Università ed enti nazionali	84
Industrie internazionali e nazionali	98
TOT	507

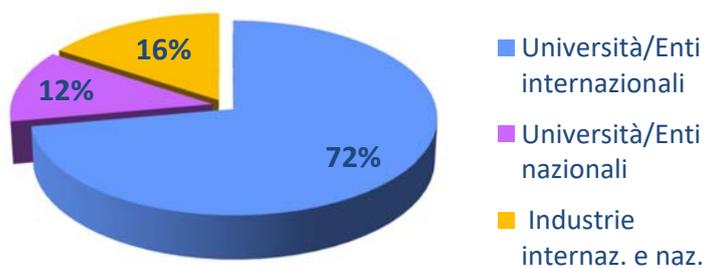


Distribuzione delle collaborazioni INRiM per tipologia.

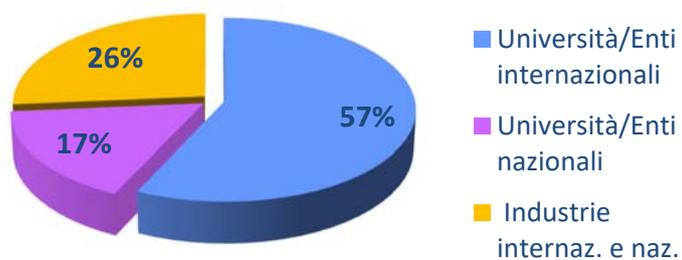
I grafici a seguire riportano il quadro delle collaborazioni a livello di Divisione.



ML - Distribuzione delle collaborazioni per tipologia.

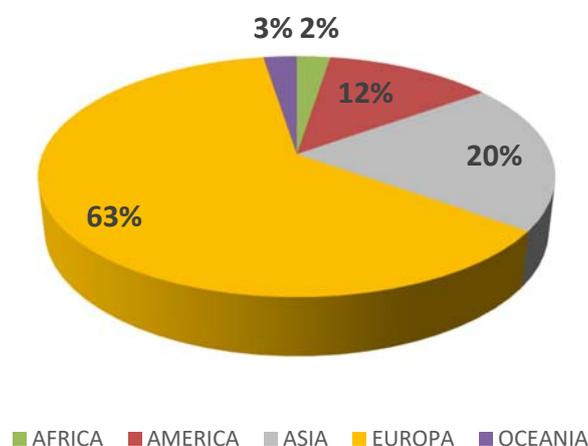


AE - Distribuzione delle collaborazioni per tipologia.



QN - Distribuzione delle collaborazioni per tipologia.

Per quanto concerne le Università e altri enti internazionali, sono coinvolti organismi di 40 paesi di tutti i continenti, secondo le percentuali riportate nel grafico seguente.



Distribuzione delle collaborazioni nei continenti.

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

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

8.1 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI

L'INRiM è firmatario per l'Italia del *Mutual Recognition Arrangement (MRA)*⁵, 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 63 Stati Membri e 38 Stati Associati ed Entità Economiche). Il CIPM-MRA prevede il riconoscimento reciproco dei Campioni nazionali di misura e dei certificati di taratura emessi dagli Istituti Metrologici dei principali Paesi industrializzati. Ciò assicura al Paese l'equivalenza internazionale degli standard metrologici e, alle imprese italiane, la libera circolazione dei certificati emessi dai laboratori accreditati.

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

Tabella 2 - 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

⁵ All'accordo CIPM-MRA hanno aderito 252 istituti, di cui 98 NMIs, 4 organizzazioni internazionali e 152 Istituti Designati come detentori di specifici campioni nazionali.

		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
AUV	Acoustics	Physical acoustics	AE
		Acoustic and ultrasound	ML
		Vibration	AE
QM	Amount of substance	Gas analysis	AE
		Electrochemistry	QN
		Inorganic analysis	QN
		Organic analysis	AE, QN
		Bioanalysis	ML, QN
		Surface analysis	QN

L'adesione al CIPM-MRA coinvolge notevoli risorse umane, strumentali e finanziarie, allo scopo di mantenere e 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. Dai dati rilevati nel database del BIPM a dicembre 2021, l'INRiM risulta aver prodotto 442 CMC (433 in fisica e 9 in chimica).

Tabella 3 - INRiM – CMC

<i>Field</i>		2017	2018	2019	2020	2021
AUV	Acoustics, Ultrasounds and Vibrations	42	42	42	42	42
EM	Electricity and magnetism	119	115	115	114	135
L	Length	43	43	43	49	51
M	Mass	61	61	62	62	62
PR	Photometry and Radiometry	23	20	20	20	20
QM	Amount of substance	9	9	9	9	9
T	Thermometry	97	100	100	111	111
TF	Time and Frequency	12	12	12	12	12
Totals		406	402	403	419	442

A testimoniare la valenza delle collaborazioni internazionali dell'INRiM è la partecipazione a **EURAMET**

(<http://www.euramet.org/>), l'associazione europea degli istituti nazionali di metrologia nonché Organismo metrologico regionale (RMO) nell'ambito del CIPM-MRA. EURAMET coordina la cooperazione nella ricerca metrologica, nella riferibilità delle misurazioni alle unità SI, nel riconoscimento internazionale dei campioni e delle CMC dei propri membri. Anche nel 2021 l'INRiM ha partecipato, attraverso membri designati, alle attività di 11 dei 12 Comitati tecnici EURAMET e, in qualità di Istituto Metrologico Nazionale, ha coordinato la partecipazione italiana insieme a università e industrie.

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

Nel 2021, EURAMET ha posto le basi per la partenza di una nuova iniziativa di ricerca, che si fonda sull'art. 185 del trattato di Lisbona, denominata European Partnership on Metrology (**EPM**) e inquadrata nell'ambito del programma Horizon Europe. La EPM promuove la ricerca e lo sviluppo nel campo della scienza delle misure (anche per applicazioni nei settori emergenti dell'energia, ambiente e salute) per l'integrazione dei laboratori nazionali e l'innovazione di prodotti e processi di produzione. Il processo di adesione alla Partnership non è ancora concluso nel 2021: alla partnership aderisce la maggior parte degli istituti metrologici europei, comprendendo anche alcuni stati non membri dell'Unione Europea. Questo programma 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, le 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.

Attualmente sono state costituite le seguenti nove EMN:

- Advanced Manufacturing
- Climate and Ocean Observation
- Energy Gases
- Mathematics and Statistics
- Quantum Technologies
- Radiation Protection
- Smart Electricity Grids
- Smart Specialisation in Northern Europe
- Traceability in Laboratory Medicine

L'INRiM coordina la Quantum Technologies e partecipa, attraverso i suoi rappresentanti, alle attività di altre sei reti (maggiori dettagli sono disponibili al capitolo 7.2 di questo documento).

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

A seguito della pandemia, la riunione annuale del TC-Quality è stata pensata, fin dalle prime azioni di programmazione, come un meeting on-line, che si è tenuto dal 20 al 22 aprile 2021.

Il TC-Q Steering Committee ha effettuato in modalità remota la valutazione dei documenti di Annual Report e degli ultimi documenti GAAP (Gap Analysis and Action Plan per la transizione alla nuova edizione della norma ISO 17025) relativi agli istituti che non avevano ancora completato la transizione alla ISO/IEC 17025:2017. L'Annual Report di INRiM ha riportato valutazione positiva, con "minor questions", risolte a stretto giro dal QMS

di INRiM.

INRiM partecipa inoltre al progetto EURAMET 1123 "On site peer review" (dal 2009-10-01) in collaborazione con gli Istituti Metrologici Nazionali di Spagna e Portogallo, al fine di mettere in atto un piano di Peer visits annuali tra gli istituti partecipanti al progetto. A dicembre 2021 l'INRiM ha sostenuto con risultato positivo la sua Peer review annuale, condotta dagli esperti degli istituti INTA (Spagna), IPQ (Portogallo), CEM (Spagna) ed LCOE (Spagna). Le attività di Peer review si sono svolte in modalità remota, sono state distribuite nel corso di 6 giornate (dal 9 al 16 dicembre) ed hanno riguardato le attività dei laboratori di Lunghezza (Laser frequencies, Dimensional metrology), Massa (Mass standards, Density) Termometria (Temperature, Humidity) Elettromagnetismo (HVHC, RF Measurements, Chimica inorganica (Gases/Environmental).

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

Nel 2021 per l'INRiM sono attive 60 convenzioni con altri Istituti e Università, nazionali e internazionali, 20 delle quali sono state stipulate ex novo nell'anno (l'elenco completo è disponibile nell' Appendice 3).

Le convenzioni stipulate con enti internazionali sono 9, di cui 3 avviate nel 2021:

- Centre for Research and Technology-Hellas (CERTH)/Chemical Process and Energy Resources Institute (CPERI), Grecia: cooperazione scientifica e tecnologica nel campo delle proprietà delle ferriti sinterizzate;
- The National Institute of Standards and Technology of the Department of Commerce of the United States of America (NIST): memorandum of understanding, con il Material Measurement Laboratory (a capo del programma Materials Genome Initiative - MGP), finalizzato alla collaborazione scientifica e tecnologica nell'ambito di: digitalization, artificial intelligence e materiali.
- National Institute of Information and Communications Technology (NICT) e National Institute for Astrophysics, Institute of Radio Astronomy (INAF/IRA): amendment to Collaborative Research Agreement.

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

Nel 2021 sono state rinnovate le seguenti associazioni con organismi internazionali:

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

- IMEKO – International Measurement Confederation, Network mondiale degli enti metrologici che promuove scambi internazionali di informazioni scientifiche e tecniche nell’ambito della metrologia, favorendo anche la cooperazione tra ricerca e industria.

8.2 - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI

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

Delle 60 convenzioni attive in INRiM, 51 sono state stipulate con Università, Ministeri, enti di ricerca nazionali, associazioni, consorzi; di queste, 17 sono state attivate nel 2021.

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 attive cinque convenzioni stipulate con l’Università di Torino, dedicate all’attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in “Fisica” e di un Corso di Dottorato di Ricerca in “Scienze Chimiche e dei Materiali”, nonché a regolamentare i rapporti di collaborazione tra l’INRiM e UniTO nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi; altre due convenzioni sono state stipulate con il Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche (DSCB) e con il Dipartimento di Scienze Chirurgiche (DISC). Nel 2021 è stata sottoscritta una nuova convenzione avente ad oggetto i tirocini extracurricolari formativi e di orientamento, mentre col Dipartimento di Scienze della Terra e Centro Interuniversitario di Magnetismo Naturale (CIMAN) si è avviata una collaborazione nell’ambito dello studio del magnetismo naturale nel campo della geologia e dei beni culturali e ambientali; sempre nell’anno, sono stati sottoscritti un Memorandum of Understanding finalizzato alla partecipazione a costituire la piattaforma progettuale “Butterfly Area” (dove verranno messi a disposizione spazi per la didattica, per la ricerca, incubatori di imprese e spazi fruibili al pubblico) e un contratto (che include anche il Politecnico di Torino) avente ad oggetto la collaborazione in attività di ricerca e trasferimento tecnologico e per la realizzazione e la gestione di laboratori condivisi, tra cui l’infrastruttura Piquet.

Sul fronte del Politecnico di Torino, un punto di contatto particolarmente prestigioso è rappresentato dal Corso di Dottorato in Metrologia, attivato attraverso una convenzione stipulata tra l’INRiM e PoliTO, enti che vantano una lunga tradizione di studi condivisi in campo metrologico; la nuova convenzione a riguardo è stata sottoscritta a fine 2020 e scadrà nel 2023. E’ ancora attiva anche la sottoscrizione di un Memorandum of Understanding, finalizzato alla costituzione della rete italiana di infrastrutture di micro e nano-fabbricazione “IT-FAB”, stipulato con il Politecnico di Torino (e comprendente anche altri partner quali CNR, Politecnico di Milano, Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento, Fondazione INPHOTEC di Pisa). Nel 2021, oltre all’accordo sopra citato riguardante la gestione di laboratori condivisi, è stato siglato un protocollo di intesa tra l’INRiM e I3P Scpa – Incubatore Imprese Innovative del Politecnico di Torino (Incubatore I3P), finalizzato a definire il contributo del supporto INRiM alle attività dell’ESA Business Incubation Centre, e quindi ad avviare una partnership per il supporto alla creazione di nuove imprese nel settore aerospazio e della New Space Economy e il supporto alle startup innovative operanti nel settore aerospaziale.

Altre nuove convenzioni sono state stipulate nel 2021 con i seguenti organismi:

- Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR (Roma)
- Università degli Studi di Milano
- Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE) – Direzione generale per la politica industriale, l’Innovazione e le Piccole e Medie Imprese (Roma)
- Centro Interuniversitario per la promozione dei principi delle 3R nella didattica e nella ricerca 3R (Pisa)

- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - INFN (Torino)
- Area Science Park (Trieste)
- CNR-IFN (Milano), CNR-INO (Firenze), Consortium GARR (Roma), Fondazione Bruno Kessler (Trento), Gran Sasso Science Institute (L'Aquila), INFN (Frascati, Roma), Politecnico di Milano, Thales Alenia Space Italia S.p.A. (Roma), Università degli Studi di Padova e Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
- Associazione CentroScienza Onlus (Torino)
- Ente di gestione delle aree protette dei Parchi Reali (EGAP) - Venaria Reale (TO) e Società Meteorologica Italiana (SMI) – Moncalieri (TO)
- Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari - LENS (Sesto Fiorentino)

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, attraverso la preziosa competenza di ispettori/esperti per le pratiche di accreditamento e l'adeguata copertura metrologica alle attività di accreditamento.

Nel 2021 l'INRiM ha continuato a collaborare, in qualità di associato, con importanti organismi nazionali che gravitano nell'ambito della metrologia, tra i quali si segnalano i seguenti enti normativi:

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

L'INRiM ha confermato per il 2021 anche la sua adesione a 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.

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 MUR; è attualmente considerato il maggiore centro di calcolo in Italia e uno dei più importanti a livello mondiale.

Confermate nel 2021 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.

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 MUR come propulsore della crescita economica sostenibile dei territori dell'intero sistema economico nazionale, favorendo l'innovazione e la specializzazione dei sistemi manifatturieri nazionali.

Storica è invece l'adesione dell'INRiM, in qualità di membro, ai Poli di Innovazione della Regione Piemonte elencati di seguito, confermata anche per il 2021.

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.

I Poli a cui l'INRiM aderisce sono i seguenti:

- Polo di Innovazione BIOPMED
- Polo CLEVER (Cleantech&Energy innoVation clustER)
- Polo ICT
- Polo MESAP “Smart Products and Manufacturing”

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

Infine, l'INRiM ha confermato anche per il 2021 la sua associazione ai seguenti organismi:

- 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;
- CUNA - Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo di Torino: si tratta di un'associazione senza fini di lucro, di carattere tecnico e federata all'UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, il cui scopo è di contribuire alla soluzione di argomenti di unificazione tecnica nel campo delle macchine mobili, loro componentistica e prodotti affini o connessi;
- Distretto Aerospaziale Piemonte (DAP): l'Associazione non ha scopo di lucro ed è finalizzata ad attuare le iniziative per lo sviluppo e il consolidamento di un distretto tecnologico aerospaziale del Piemonte e la promozione delle eccellenze del settore aerospaziale presenti sul territorio piemontese, anche al fine di promuovere la nascita, ovvero lo sviluppo, di piccole e medie imprese (PMI) nella filiera aerospaziale;
- Fondazione Torino Wireless: la sua missione consiste nel contribuire alla competitività del territorio, accelerando la crescita delle imprese che utilizzano le tecnologie come fattore strategico di sviluppo;

fornisce supporto alle imprese nella partecipazione a bandi e progetti finanziati (misure regionali, nazionali o comunitarie) e nella ricerca di partner e l'avvio di collaborazioni fra imprese, anche attraverso la creazione di opportunità di networking con potenziali partner di ricerca, industriali e commerciali;

- IMQ – Istituto Italiano del Marchio di Qualità: è un ente di certificazione italiano, senza scopo di lucro, che opera nel campo della valutazione della conformità (sicurezza, qualità, sostenibilità) per l'Italia e per l'estero;
- NETVAL - Network per la valorizzazione della ricerca: è un'associazione la cui mission è valorizzare la ricerca universitaria nei confronti del sistema economico ed imprenditoriale, enti ed istituzioni pubbliche, associazioni imprenditoriali e aziende, venture capitalist e istituzioni finanziarie; Netval vuole rappresentare un ponte tra la ricerca pubblica e le imprese interessate ad accrescere la propria competitività attraverso l'innovazione;
- SIF – Società Italiana di Fisica: si tratta di un ente morale con lo scopo di promuovere, favorire e tutelare lo studio e il progresso della Fisica in Italia; è il promotore e l'organizzatore della Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi", evento che consiste in un insieme di corsi che si tengono ogni anno a Varenna sul Lago di Como e al quale l'INRiM partecipa periodicamente con un corso, rivolto agli studenti di dottorato, dedicato alla Metrologia;
- Unimet: è un ente federato UNI, che si occupa della normativa nell'ambito dei metalli non ferrosi.

Nel 2021 l'INRiM ha avviato la nuova associazione ad AIDI (Associazione Italiana di Illuminazione): l'associazione svolge una costante azione di informazione scientifica, tecnica e culturale per la diffusione della conoscenza delle tematiche legate all'illuminazione e ha come "mission" principale quella di divulgare e promuovere la "cultura della luce", contribuendo così a favorire lo sviluppo dell'innovazione e delle nuove tecnologie; l'adesione a questo organismo (che è il Comitato Nazionale di riferimento nell'ambito del tema "luce") è indispensabile per assicurare la partecipazione dell'INRiM a livello internazionale nella CIE - Commission Internationale de l'Éclairage, organizzazione non-profit di carattere tecnico, scientifico e culturale di riferimento per lo studio della luce e sue interazioni con l'uomo, riconosciuta da EURAMET come Ente normatore e i cui documenti tecnici sono utilizzati come riferimento per norme internazionali.

Il CdA ha deliberato anche l'adesione alla nuova associazione APEnet (Associazione degli Atenei ed Enti di Ricerca per il Public Engagement) la cui finalità principale è la diffusione, promozione e valorizzazione della cultura e delle esperienze di Public Engagement. L'Associazione, che ha sede a Torino, riunisce Università ed Enti/Istituti di Ricerca che riconoscono il ruolo e l'importanza dei valori e delle azioni di Public Engagement; l'INRiM, divenendo socio fondatore, avrà l'opportunità di partecipare ai progetti, usufruire di eventuali contributi e avviare collaborazioni con gli associati ai fini dell'implementazione di programmi italiani ed europei di ricerca, innovazione e sviluppo tecnologico.

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

9.1 - RICERCA E SVILUPPO (R&S)

Il lavoro, svolto in collaborazione con CLNS@Sapienza Roma - IIT, descrive una nuova tecnica sperimentale per estrarre informazioni sulla distribuzione spaziale dell'intensità di luce all'interno di materiali diffusivi, finora inaccessibili. La tecnica si basa sull'infiltrazione di DNA-origami di lunghezza nota decorati alle estremità da emettitori fluorescenti. Le proprietà statistiche della loro emissione diffusa consentono di derivare varie proprietà del campo elettromagnetico locale, fortemente influenzato da effetti di campo vicino solitamente trascurabili al di fuori di un materiale.

M. Leonetti*, L. Pattelli*, S. De Panfilis, D. S. Wiersma, G. Ruocco. *Spatial coherence of light inside three-dimensional media. Nature Communications*, 12(1), 1-9 (2021) (IF 14.9, *equal contribution, Featured article)

Il lavoro descrive l'implementazione hardware ("in materia") del paradigma di computazione neuromorfa denominato "reservoir computing" in reti di nanofili auto assemblate. Grazie alla connettività sinaptica e alle dinamiche nonlineari caratteristiche dei nanofili memresistivi, la rete di nanofili agisce come un "reservoir" fisico in grado di processare input spazio-temporali multipli. Gli output della rete sono poi analizzati e classificati da un hardware memresistivo convenzionale. Le capacità computazionali del sistema hardware, incluso il riconoscimento di pattern spazio-temporali e la predizione di serie temporali, mostrano come il comportamento emergente della rete di nanofili può essere sfruttato per l'implementazione *in materia* di paradigmi di computazione ispirati al funzionamento del cervello umano con ridotto costo di allenamento. Tale lavoro è frutto di una collaborazione tra INRiM, Politecnico di Torino e Politecnico di Milano.

Milano, G., Pedretti, G., Montano, K., Ricci, S., Hashemkhani, S., Boarino, L., ... & Ricciardi, C. (2021). *In materia reservoir computing with a fully memristive architecture based on self-organizing nanowire networks. Nature Materials*, 21(2), 195-202.

L'articolo fornisce, per la prima volta in letteratura, un'analisi dosimetrica degli effetti termici prodotti dall'azione combinata dei campi elettromagnetici a radiofrequenza e dei "campi magnetici di gradiente" nel corpo di un paziente portatore di protesi metallica dell'anca, sottoposto a tomografia a risonanza magnetica. L'analisi, frutto della collaborazione con PTB e King's College di Londra, è condotta per via modellistica, simulando in modo realistico le sequenze di funzionamento del tomografo. I risultati evidenziano alcune situazioni di potenziale rischio.

Arduino A., Zanovello U., Hand J., Zilberti L., Brühl R., Chiampi M., Bottauscio O., "Heating of hip joint implants in MRI: the combined effect of radiofrequency and switched-gradient fields," *Magnetic Resonance in Medicine*, 85, n. 6, pp. 3447-3462, DOI: 10.1002/mrm.28666, June 2021 (IF 4.668)

È stata proposta ed applicata una metodologia per la determinazione del risparmio energetico apportato da una sottostazione di alimentazione di tipo reversibile. L'elevata mole di dati, acquisiti a bordo di un convoglio della metropolitana di Madrid durante il progetto di ricerca MyRailS ha permesso di valutare l'impatto energetico della sottostazione reversibile in diverse condizioni di traffico (giorno, notte, weekend). L'attività ha inoltre permesso di evidenziare alcune deficienze nel controllo del sistema di alimentazione che limita l'impatto energetico della sottostazione reversibile.

F. Cascetta, G. Cipolletta, A. Delle Femine, J. Quintana Fernández, D. Gallo, D. Giordano, D. Signorino, "Impact of a reversible substation on energy recovery experienced on-board a train, *Measurement*," Volume 183, 2021, 109793, ISSN 0263-2241 (IF 3.927)

Questa review riassume le conoscenze attuali sui meccanismi d'azione della terapia sonodinamica, SDT, e dei sensibilizzatori attualmente disponibili e si concentra sugli studi preclinici e clinici che hanno indagato la sua efficacia sui gliomi maligni. Ad oggi, gli studi preclinici che utilizzano vari sonosensibilizzatori e diversi protocolli di trattamento sembrano tutti confermare le proprietà antitumorali della SDT. Risulta quindi fondamentale condurre ulteriori indagini sulle applicazioni cliniche della SDT, sia sotto l'aspetto clinico che tecnico, come opzione terapeutica nella gestione dei gliomi intracranici.

Antonio D'Ammando, Luca Raspagliesi, Matteo Gionso, Andrea Franzini, Edoardo Porto, Francesco Di Meco, Giovanni Durando, Serena Pellegatta, and Francesco Prada, *Sonodynamic Therapy for the Treatment of Intracranial Gliomas Journal of Clinical Medicine* doi: <https://doi.org/10.3390/jcm10051101>

L'articolo nasce dalla collaborazione tra l'INRiM e l'Istituto Ortopedico Galeazzi, volta allo studio di vescicole

extracellulari derivate da cellule stromali mesenchimali come agenti terapeutici per il trattamento dell'osteoartrite. Il contributo che l'INRiM ha dato per questo studio è stata la valutazione della cinetica di assorbimento nei tessuti cartilaginei delle nanovesicole, marcate in fluorescenza, attraverso l'utilizzo della microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF in time-lapse. A seguito della valutazione quantitativa della profondità di penetrazione delle nanovesicole, dell'area e del volume occupati e della colocalizzazione rispetto alla matrice extracellulare e alle cellule tissutali, si è dedotta l'esistenza potenziale di due dinamiche concorrenti di internalizzazione. La diffusione delle vescicole extracellulari nel tessuto ha raggiunto un plateau dopo circa 16 ore dalla somministrazione dimostrando una rapida penetrazione nel tessuto e nelle aree ricche di collagene.

A. Colombini, E. Ragni, L. Mortati, F. Libonati, C. Perucca Orfei, M. Viganò, M. Brayda-Bruno, L. de Girolamo. *Adipose-Derived Mesenchymal Stromal Cells Treated with Interleukin 1 Beta Produced Chondro-Protective Vesicles Able to Fast Penetrate in Cartilage. Cells* 2021, 10, 1180 (IF 6.6).

L'articolo nasce dalla collaborazione tra i Settori ML4 e ML5, il TUBITAK (l'ente metrologico turco) e l'Università di Ankara, nell'ambito del Progetto EMPIR 18HLT06 RaChy. Il lavoro mira all'ottimizzazione di nanoparticelle in ossido di ferro per applicazioni terapeutiche basate sull'ipertermia, con un approccio multidisciplinare che comprende la sintesi chimica, la caratterizzazione strutturale, morfologica e dimensionale, e la misura delle perdite per isteresi, alla base del processo di riscaldamento, e della relativa efficienza termica. Il comportamento osservato sperimentalmente è stato interpretato tramite modelli computazionali di tipo micromagnetico e termodinamico, implementati in INRiM. I risultati sperimentali e modellistici riportati nell'articolo sono stati inoltre presentati alla conferenza internazionale E-MRS 2021, nell'ambito del simposio ALTECH "Analytical techniques for precise characterization of nanomaterials", ricevendo un premio finanziato da Wiley-VCH.

R. Ferrero, G. Barrera, F. Celegato, M. Vicentini, H. Sözeri, N. Yıldız, C. A. Dinçer, M. Coisson, A. Manzin, P. Tiberto. *Experimental and Modelling Analysis of the Hyperthermia Properties of Iron Oxide Nanocubes. Nanomaterials* 2021, 11(9), 2179 (IF 5.076).

In questo lavoro ("Featured Article") viene svolta una completa analisi teorico-sperimentale del processo di magnetizzazione in leghe Fe-Si a grani orientati ad alta permeabilità, in condizioni quasi-statiche e dinamiche. L'indagine viene effettuata su strisce tagliate lungo direzioni variabili tra 0° (RD) e 90°(TD) rispetto alla direzione di laminazione, in modo da riprodurre ogni situazione riscontrabile nei dispositivi elettrotecnici utilizzando tali materiali. In particolare, viene proposta una semplice formula in grado di predire la perdita di energia in funzione dell'induzione, della frequenza di magnetizzazione e dell'angolo di taglio, a partire da un limitato insieme di dati sperimentali ottenuti lungo RD e TD, senza l'introduzione di parametri arbitrari. Questo approccio trova applicazioni nella progettazione delle apparecchiature dedicate alla trasmissione e conversione dell'energia elettrica, dove tali leghe giocano un ruolo centrale.

E. Ferrara, C. Appino, C. Ragusa, F. Fiorillo, "Anisotropy of losses in grain-oriented Fe-Si". *AIP Advances* 11(11), 115208-1/13 (2021). IF=1.624

In questo articolo il nostro gruppo ha investigato - dal punto di vista teorico e sperimentale - il comportamento delle perdite magnetiche in un materiale di grande rilevanza economica e industriale: lamierini di acciaio ad alta permeabilità, grain-oriented. Lo studio è stato effettuato in un range di frequenze estremamente ampio (fino a 10 kHz) a causa del suo grande interesse per numerose applicazioni. Abbiamo mostrato che la decomposizione delle perdite è un metodo efficace nel descrivere il problema, grazie alle osservazioni di dinamica delle pareti di dominio effettuate con esperimenti magnetoottici Kerr. In particolare, calcolando attraverso l'equazione di diffusione di Maxwell i profili di induzione magnetica lungo lo spessore del campione, è stato possibile ottenere la dipendenza della componente classica della perdita W_{class} in funzione della frequenza e della polarizzazione di picco. Le osservazioni Kerr mostrano che, se da un lato le pareti oscillanti a 180° riescono ad adattarsi all'induzione di picco quando questa è piccola grazie al processo di bowing, ad alta induzione di picco e alta frequenza cioè avviene invece con il moto interno al campione di pareti simmetriche che hanno origine alla superficie del campione.

A. Magni, A. Sola, O. de la Barrière, E. Ferrara, L. Martino, C. Ragusa, C. Appino, and F. Fiorillo, "Domain structure and energy losses up to 10 kHz in grain-oriented Fe-Si sheets", *AIP Advances* 11, 015220 (2021); <https://doi.org/10.1063/9.0000184>

In questo lavoro sono descritti il metodo sperimentale e il modello di calcolo per la determinazione dei moduli di indentazione, del lavoro di indentazione e dello scorrimento di indentazione di materiali metallici, per mezzo di forze a livello di macroscale fornite da una macchina primaria campione di durezza presso l'NRiM. I moduli di indentazione sono stati accuratamente determinati dalle misurazioni del carico di indentazione, spostamento, rigidità di contatto e imaging di indentazione della durezza e dalla pendenza della curva di scarico dell'indentazione applicando il modello lineare di Doerner-Nix; il lavoro di indentazione, che

rappresenta il lavoro meccanico impiegato durante l'applicazione della forza della procedura di indentazione, è stato determinato calcolando le aree sotto la curva di indentazione carico-scarico, adattando i dati sperimentali con una legge polinomiale. Le misurazioni sono state eseguite con un penetratore piramidale (test di Vickers). La forza applicata è stata fornita da una macchina a pesi diretti e il relativo spostamento è stato misurato da un sistema interferometrico laser. Sono state misurate simultaneamente le forze applicate e le profondità di indentazione ed è stata ottenuta la curva di indentazione di carico-scarico risultante. Sono state eseguite prove illustrative su campioni di metalli e leghe. Sono state riportate discussioni e commenti sull'adeguatezza del metodo e dell'analisi proposti.

Schiavi, A., Origlia, C., Germak, A., Prato, A., Genta, G. "Indentation Modulus, Indentation Work and Creep of Metals and Alloys at the Macro-Scale Level: Experimental Insights into the Use of a Primary Vickers Hardness Standard Machine" *MATERIALS* - ISSN:1996-1944 vol. 14 (2021) DOI:10.3390/ma14112912. (IF 3.623)

L'articolo riporta i risultati di un'accurata caratterizzazione delle proprietà microstrutturali e di trasporto in materiali porosi utilizzati in medicina rigenerativa. Le misurazioni sono state effettuate con un apparato di misura ideato, progettato e realizzato presso l'INRiM. Data l'elevata accuratezza delle misurazioni, è stato possibile fornire caratterizzazioni quantitative delle proprietà microstrutturali di varie tipologie di *scaffolds* ossei utilizzati in medicina rigenerativa, ad oggi forniti attraverso simulazioni fluidodinamiche. Il modello fisico è basato sull'implementazione dell'equazione di Ergun-Wu.

Fiume, E., Schiavi, A., Orlygsson, G., Bignardi, C., Verné, E., Bairo, F., "Comprehensive assessment of bioactive glass and glass-ceramic scaffold permeability: experimental measurements by pressure wave drop, modelling and computed tomography-based analysis", *Acta Biomaterialia*, 119, pp. 405-418 (2021), DOI: 10.1016/j.actbio.2020.10.027 (IF 8.947)

Si è concluso con successo a novembre il progetto europeo triennale EMPIR EUCoM (*Evaluating the Uncertainty in Coordinate Measurement*) coordinato dall'INRiM. Le misure a coordinate sono pratica industriale ordinaria per il controllo dimensionale di pezzi semilavorati rispetto alle tolleranze a disegno. Le norme internazionali (JCGM 106, UNI EN ISO 14253 1) stabiliscono che l'incertezza di misura è parte irrinunciabile per verificare la conformità. Nelle misure a coordinate, incertezza è però difficile da valutare e spesso ignorata, con rischio di false decisioni. Le conseguenze possono variare da semplici inefficienze ad eventi disastrosi quali guasti di componenti critici per la sicurezza. EUCoM ha elaborato tre metodi per valutare l'incertezza idonei all'applicazione industriale. Uno è interamente sperimentale e basato sull'analisi della varianza (ANOVA) di misure ripetute; gli altri due predicono l'incertezza sulla base d'informazione già disponibile ordinariamente. I metodi sono stati validati mediante un'estesa campagna sperimentale svolta in 10 Paesi, in geometria sia prismatica sia libera, sia per punti discreti sia per scansione. I risultati dimostrano l'efficacia dei metodi, in particolare di quello sperimentale; gli altri due, basati su informazioni a priori, sono necessariamente approssimati, e forniscono indicazioni utili in fase di progettazione della misura. Il progetto ha prodotto, fra il resto, sei articoli su rivista e un capitolo di libro, di cui tre partecipati dall'INRiM; altri tre (di cui due partecipati) sono in corso di pubblicazione. Lo ISO/TC 213/WG 10 (CMMs) ha iniziato il progetto ISO 15530 2 per recepire il metodo sperimentale in una norma internazionale.

Rosner, P., Wojtyła, M., Gomez-Acedo, E., Balsamo, A. "Uncertainty evaluation for complex GPS characteristics", *Measurement: Sensors*, 18:100323, (2021) <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100323>

Wojtyła, M., Rosner, P., Forbes, A.B., Savio, E., Balsamo, A. "Verification of sensitivity analysis method of measurement uncertainty evaluation", *Measurement: Sensors*, 18:100274, (2021) <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100274>

<https://eucom-empir.eu/>

Il manifatturiero è parte essenziale della società moderna e il suo sviluppo caratterizza significativamente il benessere dei Paesi produttori. In particolare, il manifatturiero avanzato è chiave per il mantenimento della competitività nazionale ed europea. Per manifattura avanzata si intende quella "basata su conoscenza, tecnologie, metodi e capacità in grado di generare beni e servizi nuovi o migliorati in modo sostanziale o di migliorare l'efficienza e la produttività, pur assicurando sostenibilità ambientale e sociale". EURAMET, l'associazione degli Istituti di Metrologia europei, ha riconosciuto l'importanza delle misure nel manifatturiero avanzato, ed ha approvato una EMN (*European Metrology Network*) su questo tema. Ciò è stato preparato dai lavori di un progetto EMPIR denominato AdvManuNet, ancora in corso, che ne facilita la preparazione, nascita e sviluppo. L'INRiM è partner di questo progetto con ruolo di *Work Package Leader*; in particolare ha curato le fasi preliminari a partire dalla stessa definizione di manifatturiero avanzato. Approvata la EMN, le elezioni interne hanno visto il rappresentante INRiM eletto al ruolo di vicepresidente con responsabilità su una delle tre Sezioni, *Manufactured Components and Products*. La EMN è ora al lavoro per preparare la SRA (*Strategic Research Agenda*) che riconoscerà le esigenze principali di metrologia nel manifatturiero avanzato, come guida per i futuri lavori di EURAMET nel settore. I primi risultati del lavoro, fra cui gli esiti di un'inchiesta europea, sono riassunti in un articolo pubblicato su *Measurement Science and Technology*.

Przyklenk, A., Balsamo, A., O'Connor, D., Evans, A., Yandayan, T., Akgöz, S.A., Flys, O., Phillips, D., Zeleny, V., Czutek, D., Meli, F., Ragusa, C.S., Bosse, H. "New European Metrology Network for advanced manufacturing", *Measurement Science and Technology*, 32:111001, (2021) doi 10.1088/1361-6501/ac0d25 (IF 2.046)

L'articolo descrive una serie di tecnologie applicate allo sviluppo di nuovi materiali polimerici con agenti chimici funzionalizzanti per il miglioramento delle caratteristiche chimico fisiche e d elettriche. Parte delle caratterizzazioni dei materiali ottenuti si basa su misure elettriche.

Duraccio D., Arrigo R., Strongone V., Capra P.P., Malucelli G., "Rheological, mechanical, thermal and electrical properties of UHMWPE/CNC composites", *Cellulose* 28:10953–10967, (2021) <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04227-5> (IF 5.044)

Il lavoro si riferisce a un divisore esistente ma modificato per conformarsi ai requisiti IEC 60060 in termini di risposta al gradino e fattore di scala. Il divisore è stato calibrato con tracciabilità alle Norme Nazionali INRiM di riferimento e caratterizzato sfruttandone il fattore di scala a diverse tensioni e frequenze. L'articolo descrive l'allestimento del divisore con un generatore sinusoidale per effettuare prove a basse tensioni (inferiori a 1 kV) con singole tensioni.

Galliana F., Caria S. E., Roccato P. E., "Towards a traceable divider for composite voltage waveforms below 1 kV", *Electrical Engineering* (2021) <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01368-5> Open Access. (IF 1.836)

Il lavoro pubblicato illustra i risultati di misure di densità dell'acqua di mare *standard*, in condizioni di alta pressione e di equilibrio termodinamico anche metastabile. I valori di densità sono state ottenuti utilizzando una cella picnometrica con metodo pseudo-isocorico. I risultati ottenuti, costituendo l'unico insieme di misure di densità di acqua marina in stati metastabili, saranno particolarmente utili per confermare la validità metrologica dell'equazione di riferimento *Thermodynamic Equation of SeaWater 2010* (TEOS-10). Gli stessi risultati hanno inoltre permesso di implementare una funzione a 8 parametri del volume specifico che consente di calcolare densità, coefficiente di espansione termica e comprimibilità isoterma.

Romeo R., Giuliano Albo P.A., Lago S., "Density and derived properties of standard seawater up to high pressure in stable and metastable states", *Deep-Sea Research I*, Vol. 177, 103624 (2021) (IF 2.955)

Il lavoro pubblicato descrive misure di indice di rifrazione di elio e neon complessivamente ottenute nell'intervallo di temperatura compreso fra i punti fissi dell'idrogeno (13.8 K) e dello xenon (161.4 K) con un metodo primario. Dai risultati di tali misure vengono determinate le differenze ($T - T_{90}$) fra la temperatura termodinamica T e la sua approssimazione T_{90} sulla Scala Internazionale di Temperatura, utili per una futura revisione internazionale di tale approssimazione e della sua incertezza prevista nel 2022. Dagli stessi risultati viene anche determinato il secondo coefficiente viriale di He e Ne per un confronto con i calcoli *ab initio* delle stesse proprietà.

Madonna Ripa D., Imbraguglio D., Gaiser C., Steur P. P. M., Giraudi D., Fogliati M., Bertinetti M., Lopardo G., Dematteis R., Gavioso R. M., "Refractive index gas thermometry between 13.8 K and 161.4 K", *Metrologia*, Vol. 58, 025008 (2021) (IF 3.157).

L'articolo propone un approccio bayesiano multivariato per la valutazione di rischi di decisioni errate, nell'ambito della valutazione di conformità di composizioni chimiche di sostanze o materiali, che tiene in considerazione l'incertezza di misura, le covarianze ed il vincolo di massa tra le componenti. Il metodo, applicato ad un *dataset* di misure composizionali di un prodotto alimentare, ha evidenziato un rischio totale (globale) per il consumatore pari a 0.6 %, mentre quello per il produttore è pari a 1.7 %. I rischi totali, ma specifici per ciascun particolare campione analizzato, possono essere anche piuttosto elevati quando alcune delle componenti risultano vicine ai rispettivi limiti di tolleranza.

Pennechi F.R., Kuselman I., Di Rocco A., Hibbert D.B., and Semenova A.A.; "Risks in a sausage conformity assessment due to measurement uncertainty, correlation and mass balance constraint", *Food Control* 125; (2021) DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.107949, (IF: 5.48)

L'articolo riporta i risultati di una campagna in campo coordinata dall'INRiM nell'ambito del progetto MeteoMet volta a quantificare l'effetto della radiazione riflessa al suolo in presenza di neve su stazioni meteorologiche per la misura della temperatura dell'aria e l'incertezza ad esso associata. L'analisi dati, elaborata su misure effettuate con strumenti rappresentativi di diverse tipologie, evidenzia un bias di temperatura significativo (fino a 4 °C) in presenza dell'effetto albedo esplorando variabili di influenza quali vento e radiazione e validando un approccio metodologico di interesse nell'ambito della definizione e quantificazione del bilancio di incertezza della temperatura dell'aria per scopi ambientali e climatologici.

Musacchio C., Coppa G., Beges G., Hofstätter-Mohler C., Massano L., Nigrelli G., Sanna F., Merlone A., "Effect of snow-covered ground albedo on the accuracy of air temperature measurements", *AMT* 14; 9 (2021) DOI: 10.5194/amt-14-6195-2021 (IF 4.176)

In questo lavoro, sono state identificate biomolecole, come proteine di membrana, lipidi e DNA, e la loro distribuzione spaziale è stata mappata all'interno di una singola cellula di *Escherichia coli* mediante imaging iperspettrale Raman. La spettroscopia Raman consente l'analisi diretta, non distruttiva, rapida ed economica di campioni biologici, riducendo al minimo la preparazione del campione e senza la necessità di etichettatura chimica o colorazione immunologica.

Barzan, G., Sacco, A., Mandrile, L., Giovannozzi A.M., Portesi, C., Rossi, A.M., Hyperspectral chemical imaging of single bacterial cell structure by raman spectroscopy and machine learning, Applied Sciences (Switzerland), 2021, 11(8), 3409

Analisi esaustiva dei ponti di impedenza elettrica completamente digitali come strumenti di misura per la metrologia di impedenza primaria e la realizzazione delle unità e delle scale di impedenza, e delle loro sorgenti di errore. Attività svolta nell'ambito del progetto EMPIR 17RPT04 VersICal "A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges".

M. Ortolano, M. Marzano, V. D'Elia, N. T. M. Tran, R. Rybski, J. Kaczmarek, M. Koziol, K. Musiol, A. E. Christensen, L. Callegaro, J. Kucera, and O. Power, "A Comprehensive Analysis of Error Sources in Electronic Fully Digital Impedance Bridges," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 70, pp. 1-14, 2021, Art no. 1500914, doi: 10.1109/TIM.2020.3034115.

Il sistema per la mappatura della conducibilità elettrica di materiali 2D, sviluppato da INRiM nell'ambito del progetto EMPIR 16NRM01 GRACE "Developing electrical characterisation methods for future graphene electronics", e inizialmente utilizzato su grafene, è stato esteso e adattato alla caratterizzazione di reti di nanofili metallici con proprietà memristive. Queste rientrano anche nell'ambito del progetto EMPIR 20FUN06 MemQuD "Memristive devices as quantum standards for nanometrology".

A. Cultrera, G. Milano, N. De Leo, C. Ricciardi, L. Boarino, L. Callegaro, Recommended implementation of electrical resistance tomography for conductivity mapping of metallic nanowire networks using voltage excitation, , Scientific reports 11 (1), 1-8.

In questo articolo si descrive lo sviluppo di un modello quantistico per metamateriali basati su giunzioni Josephson operanti in regime di three-wave mixing (3WM) e four-wave mixing (4WM) a livelli di singolo fotone. Viene riportato il calcolo del guadagno e della distribuzione di probabilità del numero di fotoni, in funzione del tempo, in uscita dal dispositivo, considerando sia stati di Fock che stati coerenti in ingresso.

A. Greco, L. Fasolo, A. Meda, L. Callegaro, E. Enrico, "Quantum model for rf-SQUID-based metamaterials enabling three-wave mixing and four-wave mixing traveling-wave parametric amplification", Phys. Rev. B, 104:18(2021), pp. 1-10. [10.1103/PhysRevB.104.184517]

In questo lavoro si riporta lo studio della risposta di rivelatori a singolo fotone InGaAs/InP SPAD free running illuminati da un laser attenuato impulsato. Viene riportato lo sviluppo di un modello analitico per questo regime particolare, che considera gli effetti dei conteggi di buio e del tempo morto sul rate di fotoni misurati. Il modello è stato validato con un esperimento in cui viene misurata e corretta (tramite il modello) la risposta di uno SPAD free running illuminato con una sorgente a 1550 nm, con numero medio di fotoni per impulso da 0.2 a 20 e con repetition rates sia inferiori che superiori all'inverso del tempo morto del detector.

H. Georgieva, A. Meda, S. Raupach, H. Hofer, M. Gramegna, I. P. Degiovanni, M. Genovese, M. Lopez, S. Kuck, "Detection of ultra-weak laser pulses by free-running single-photon detectors: Modeling dead time and dark counts effects", Appl. Phys. Lett. 118:17(2021), p. 174002. [10.1063/5.0046014]

In questo lavoro si dimostra per la prima volta come una lettura ottica di una memoria classica possa essere migliorata sfruttando le proprietà di correlazione della luce quantistica.

"Experimental quantum reading with photon counting" G.Ortolano, E.Losero, S.Pirandola, M.Genovese, I. Ruo-Berchera, Sci. Adv. (2021) 7, eabc7796 (IF=14.14).

In questo articolo si dimostra come si possa ottenere il valore di un weak value (uno strumento per la quantum metrology) con una singola misura su un singolo fotone

"Anomalous weak values via a single photon detection", E. Rebufello, F. Piacentini, A. Avella, A. de Souza, M.Gramegna, J.Dziewior, E.Cohen, L.Vaidman, I.Degiovanni & M.Genovese, Light: Science & Applications 10, 106 (2021) (IF=17.78)

Sono stati pubblicati due lavori sul confronto intercontinentale di orologi ottici con innovative tecniche di trasferimento di frequenza con antenne Very Long Baseline Interferometry (VLBI frutto di una collaborazione internazionale tra INRiM, NICT (Giappone), INAF-IRA (Bologna) e BIPM. La collaborazione ha dimostrato per la prima volta un confronto di orologi ottici intercontinentale, tra gli orologi ottici IT-Yb1 dell'INRiM e NICT-Sr1 del NICT, con tecniche radioastronomiche. La tecnica usata sfrutta antenne VLBI trasportabili di cui una al

radio-osservatorio di Medicina, connesso in fibra ottica all'INRiM. Il risultato ottenuto è stato un confronto migliore di quello possibile con tecniche satellitari tradizionali e apre nuovi modi per il mantenimento delle scale di tempo internazionali e di misura del campo gravitazionale terrestre.

*Pizzocaro, M.; Sekido, M.; Takefuji, K.; Ujihara, H.; Hachisu, H.; Nemitz, N.; Tsutsumi, M.; Kondo, T.; Kawai, E.; Ichikawa, R.; Namba, K.; Okamoto, Y.; Takahashi, R.; Komuro, J.; Clivati, C.; Bregolin, F.; Barbieri, P.; Mura, A.; Cantoni, E.; Cerretto, G.; Levi, F.; Maccaferri, G.; Roma, M.; Bortolotti, C.; Negusini, M.; Ricci, R.; Zacchiroli, G.; Roda, J.; Leute, J.; Petit, G.; Perini, F.; Calonico, D. & Ido, T., "Intercontinental comparison of optical atomic clocks through very long baseline interferometry" *Nature Physics* 17, 223-227 (2021).*

E' stato realizzato un lavoro che dimostra come l'utilizzo di laser ultrastabili e l'interferometria coerente su fibra ottica possano migliorare le prestazioni della tecnica "twin-field Quantum Key Distribution" per la distribuzione di chiavi quantistiche. Le tecnologie sviluppate per la metrologia di frequenza permettono l'implementazione efficace della TF-QKD in campo reale su fibre a lunga distanza, mentre prima tutte le dimostrazioni erano basate su setup prototipali da laboratorio.

*C. Clivati, A. Meda, S. Donadello, S. Virzi, M. Genovese, F. Levi, A. Mura, M. Pittaluga, Z. Yuan, A. J. Shields, M. Lucamarini, I. P. Degiovanni, D. Calonico "Coherent phase transfer for real-world twin-field quantum key distribution," *Nature Comm.* 13, 157 (2022).*

E' stato realizzato un lavoro teorico che studia una nuova tecnica per il raffreddamento laser di atomi intrappolati in potenziali ottici intensi. Lo studio - che considera sia il caso di pinzette ottiche che quello di reticoli ottici - dimostra come ottenere un raffreddamento laser del tipo "sideband cooling" anche in condizioni finora considerate non possibili in letteratura. Lo studio apre nuovi scenari per il raffreddamento di sistemi atomici confinati, inclusi atomi ultrafreddi in orologi ottici.

*F. Berto, E. Perego, L. Duca, C. Sias "Prospects for single-photon sideband cooling of optically trapped neutral atoms" *Phys. Rev. Res.* 3, 043106 (2021) - Selected for Editors' suggestions.*

9.2 - RUOLO ISTITUTO METROLOGICO PRIMARIO (NMI)

La nanostrutturazione tridimensionale di materiali soffici e responsivi è uno strumento fondamentale per la realizzazione di dispositivi sensibili a stimoli esterni in diversi settori. Materiali soffici vedono un difficile impiego in queste nuove tecnologie per la scarsa risoluzione litografica e la loro instabilità meccanica. Questo lavoro descrive come la nanostrutturazione di materiali polimerici non commerciali possa essere raggiunta con risoluzione comparabile alle resine polimeriche commerciali tramite un controllo in temperatura del composto da polimerizzare. E' stato così dimostrato come sia possibile migliorare la risoluzione e ridurre lo *swelling* delle strutture polimerizzate con scrittura laser, evitando così deviazioni della struttura finale dal progetto previsto. Questo controllo accurato delle caratteristiche su scala nanometrica consente l'uso di materiali soffici e responsivi per strutture tridimensionali ad alta risoluzione.

*I. De Bellis, S. Nocentini, M. G. Delli Santi, D. Martella, C. Parmeggiani, S. Zanotto, and D. S. Wiersma. "Two-Photon Laser Writing of Soft Responsive Polymers via Temperature-Controlled Polymerization." *Laser & Photonics Reviews* 15, 8, 2100090 (2021).*

I metamateriali iperbolici (HMM) sono una classe particolare di metamateriali, in grado di offrire proprietà ottiche non convenzionali, permettendo di confinare e guidare la luce alla nanoscala. Ad oggi la maggior parte dei HMM riportati in letteratura sono realizzati mediante multistrati metallo/dielettrico o mediante elettrodeposizione in maschere nanoporose. Tuttavia, questi processi di fabbricazione portano alla generazione di HMM il cui asse di anisotropia risiede nella direzione ortogonale al piano. Tale configurazione rende difficile estrarre i modi ad alto k tipici del HMM, i quali non possono propagarsi nel far field. In questo lavoro viene introdotto un metodo per la creazione di HMM localizzati con asse ottico nel piano, basato sull'instabilità intrinseca di miscele di copolimeri a blocchi (BCP) e omopolimeri. Grazie ad una combinazione di modellazioni numeriche e misure sperimentali sono state dimostrate proprietà ottiche non convenzionali nei processi di emissione spontanea di SPS accoppiate con l'HMM autoassemblati.

*I. Murataj, M. Channab, E. Cara, C. F. Pirri, L. Boarino, A. Angelini, F. Ferrarese Lupi "Hyperbolic Metamaterials via Hierarchical Block Copolymer Nanostructures", *Advanced Optical Materials*, DOI:10.1002/adom.202001933 (2021).*

Attivazione di un servizio per la taratura, coperto da CMC, di catene di misura di Potenza ed Energia in DC per applicazioni ferroviarie per la taratura di trasduttori di tensione e corrente combinati in DC sino a 4 kV e 2400 A.

Emissione della procedura PT-EM.9.0-01 – Taratura di EMF e di trasduttori combinati di tensione e corrente per applicazioni ferroviarie DC.

Nell'ambito del progetto MICEV si è sviluppato il calcolo dell'incertezza del sistema di misura campione sviluppato da INRiM per la misura dell'efficienza di sistemi di ricarica per veicoli elettrici (EVSE - electric vehicle supply equipment). Con la collaborazione della fondazione CIRCE (Spagna) e del Politecnico di Torino si sono analizzate le forme d'onda reali rilevate presso due EVSE in merito alle grandezze elettriche coinvolte e al loro contenuto spettrale, al fine di tenere conto dei parametri che possono influenzare la corretta determinazione dell'efficienza, come l'accuratezza dei convertitori e l'effetto della temperatura. Si è stabilito che il sistema può raggiungere una buona accuratezza anche per le misure on-site in un ampio intervallo di temperatura con incertezza estesa inferiore allo 0,5% tra 5 °C e 40 °C e inferiore allo 0,1% tra 18 °C e 28 °C.

Zucca, M.; Cirimele, V.; Bruna, J.; Signorino, D.; Laporta, E.; Colussi, J.; Tejedor, M.A.A.; Fissore, F.; Pogliano, U. *Assessment of the Overall Efficiency in WPT Stations for Electric Vehicles, Sustainability*, 13, 2436, <https://doi.org/10.3390/su13052436> 2021

Organizzazione ed esecuzione di due confronti interlaboratorio ILC destinati ai laboratori accreditati da ACCREDIA sul territorio nazionale per misure acustiche: confronto ILC AUV-01/2021 riguardante la misura di livello di pressione sonora, cui hanno partecipato tutti i 12 laboratori di taratura accreditati in Italia (Relazioni N. 21-0270-01÷12), e confronto bilaterale ILC AUV-02/2021 sulla taratura di un fonometro, organizzato su richiesta del centro LAT 051 Trescal S.r.l. (Relazione N. 21-0301-03).

Nell'ambito delle attività finalizzate alla caratterizzazione e alla taratura di trasduttori acustici MEMS di nuova generazione, in collaborazione con gli istituti metrologici NRC e KRIS, sono state definite preliminarmente le attività di misura per un confronto internazionale pilota tra NRC, KRIS e INRiM, finalizzato alla validazione di un metodo ottico primario, sviluppato da KRIS e NRC, per la taratura di microfoni MEMS in campo libero nel campo di frequenza da 630 Hz a 16 kHz.

Ad ottobre 2021 è stata pubblicata dall'*American Society for Testing and Materials* (ASTM) la guida F3504-21 "Standard Practice for Quantifying Stem Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method". La pubblicazione è avvenuta a seguito di 4 cicli di revisione da parte dei membri esperti dell'"ASTM Committee F04 on Medical and Surgical Materials and Devices". La procedura standard sviluppata descrive come effettuare test non distruttivi di analisi della proliferazione cellulare in scaffold 3D per la medicina rigenerativa e per prodotti medicali di ingegneria dei tessuti. In particolare, tale procedura fornisce una spiegazione dettagliata del metodo in termini di concentrazioni di reagenti, tempi di incubazione, composizione dei terreni di coltura cellulare, curva di taratura, controlli, linearità del dosaggio e limiti di rilevamento.

Publicazione della procedura standard ASTM F3504-21 "Standard Practice for Quantifying Stem Cell Proliferation in 3D-Scaffolds by a Non-Destructive Method".

L'articolo nasce dalla collaborazione tra l'INRiM e il NIST finalizzata allo sviluppo di un metodo basato sull'analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA) per la determinazione del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$. In particolare, uno dei parametri fondamentali dell'equazione di misura è il tempo di dimezzamento del radioisotopo ^{122}Sb prodotto con la reazione di cattura neutronica $^{121}\text{Sb}(n,\gamma)^{122}\text{Sb}$. Sono state fatte due misurazioni, una presso l'INRiM e una presso il NIST, e sono stati ottenuti due valori reciprocamente compatibili pari a 2.69454(39) giorni e 2.69388(30) giorni, ma significativamente minori (circa l'1%) rispetto al valore 2.7238(2) giorni raccomandato in letteratura. La media dei due nuovi valori è stata proposta come riferimento di letteratura e suggerita sia per la determinazione del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ sia per la misura della frazione di massa di Sb in diverse matrici.

G. D'Agostino, M. Di Luzio, N.E. Sharp, M. Oddone. *A new measurement of the ^{122}Sb half-life. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2021, 329, 411-419.

Nell'ambito dei Round Robin del progetto EMPIR HEFMAG sono state eseguite diverse campagne di misura con circuiti EPSTEIN e Single Sheet Tester su campioni di acciaio magnetico laminato a grano orientato e non orientato. I risultati delle misure di perdita e le relative incertezze calcolate sono stati inviati CMI per l'analisi complessiva tra tutti i partners dei Round Robin.

In questo lavoro è descritto il processo utilizzato dal Comitato Consultivo per la Massa e le grandezze apparentate - Gruppo di Lavoro sulla Durezza (CCM-WGH) - del CIPM per sviluppare le definizioni internazionali dei metodi di prova della durezza convenzionale Rockwell, Brinell, Vickers e Knoop, per l'uso da parte degli Istituti Metrologici Nazionali (NMI) che realizzano i campioni di durezza.

Low, S.; Germak, A.; Knott, A.; Machado, R.; Song, J. (2021). "Developing definitions of conventional hardness tests for use by National Metrology Institutes". *MEASUREMENT. SENSORS - ISSN:2665-9174 vol. 18 (100096)*, pp.1-4, (2021)
DOI:10.1016/j.measen.2021.100096.

È stato realizzato un sistema di taratura per coprire il campo delle bassissime frequenze, da 0.01 Hz a 5 Hz (per range di accelerazione da 0.001 m/s² a 20 m/s², per la taratura di sismometri.

Schiavi, A., Prato, A., Pejrani, G., Facello, A., & Mazzoleni, F. "Dynamic calibration system for seismometers: Traceability from 0.03 Hz up to 30 Hz". *Measurement: Sensors*, 18, 100255, (2021).

È stato realizzato e messo in pratica un sistema di taratura (per il trasferimento) presso il laboratorio di Misure meccaniche, termiche e ambientali dell'Università dell'Aquila in collaborazione con INRiM, al fine di disseminare la catena di riferibilità da SI, alla rete dei laboratori di taratura e accreditamento Nazionale, per la grandezza "accelerazione" di sensori digitali.

Prato, A., Mazzoleni, F., D'Emilia, G., Gaspari, A., Natale, E., & Schiavi, A. (2021). *Metrological traceability of a digital 3-axis MEMS accelerometers sensor network*. *Measurement*, 184, 109925 (IF 3.927)

Venti Istituti Nazionali di Metrologia e un Istituto Designato da Europa, Asia e Sud America hanno partecipato al confronto chiave EURAMET.L-K4.2015 sui campioni diametrali, coordinato dall'INRiM. Suddiviso in due gruppi paralleli con dodici laboratori EURAMET nel gruppo 1, dieci laboratori EURAMET e due laboratori di GULFMET e SIM nel gruppo 2, e tre laboratori, CEM, INRiM e METAS, in entrambi i gruppi per assicurarne il *linking*. Due set di campioni costituiti ognuno di due anelli, due tamponi e una sfera, sono circolati in parallelo nei due gruppi con inizio a novembre 2016 e conclusione a febbraio 2018. Il valore di riferimento (KCRV) di diametro, rotondità e rettilineità è stato calcolato per ogni campione come media pesata dei risultati presentati dai laboratori. Tenuto conto del *linking* tra i gruppi, i risultati incoerenti sono risultati in numero di 12 su 119 risultati indipendenti per il diametro e 1 su 21 per la rotondità della sfera. I risultati del confronto supportano le capacità di misura (CMC) di gran parte dei laboratori partecipanti, mentre raccomandazioni e azioni correttive sono state concordate con coloro che hanno risultati incoerenti.

Picotto G.B. et al "Calibration of diameter standards (EURAMET.L-K4.2015)" *Metrologia*, 58, 04004, (2021) DOI 10.1088/0026-1394/58/1A/04004 (IF: 3.157)

Attraverso la partecipazione a confronti internazionali (APMP.L-S5, Nanoparticle Characterization - Supplementary Comparison on Nanoparticle Size, coordinato da CMS ed NMIJ, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/56/1A/04004>), confronti di misura nell'ambito di progetti europei (EMRP "Nanoparticles", <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/23/12/125005> ed EMPIR "3DNANO-Traceable three-dimensional nanometrology") sono state pienamente attestate le capacità di misura del diametro medio di nanoparticelle quasi sferiche in oro, argento, silica e polistirene, il tutto a supporto della nuova CMC assegnata nel campo di misura da 5 nm a 500 nm ed incertezza estesa tra 1,8 nm e 12 nm. La taratura del diametro medio delle nanoparticelle depositate su un substrato ultrapiatto (mica) avviene attraverso la ricostruzione con microscopio a forza atomica metrologica della sezione polare della particella quasi sferica e la misura dell'altezza del polo rispetto al substrato piatto. L'ipotesi che le particelle siano sferiche è assunta comunemente nelle misurazioni delle nanoparticelle. Da notare che il misurando è il diametro medio di una popolazione di particelle, non solo una singola particella, e che il significato del diametro medio potrebbe differire per metodi di misura differenti.

<https://www.bipm.org/kcdb/cmc/search>

Il lavoro descrive il progetto, lo sviluppo e la caratterizzazione di un divisore di tensione continua riferibile per applicazioni metrologiche di precisione.

Galliana F., Cerri R., Corona D., "Automatic DC voltage precision resistive divider with ratios between 10:1 and 107:1", *Measurement* 183 109865:1-10 (2021) (IF 3.927).

Nell'ambito del progetto EMPIR 17IND12 MET4FOF "Metrology for the factory of future" per mezzo della nuova facility, sviluppata nel corso del progetto, per la taratura di lotti di MEMS e sensori ad uscita digitale e reti di sensori, per la misura della temperatura è stato fornito il primo servizio di taratura di un lotto di 64 sensori ad uscita digitale TI TMP117 parte di una macchina ATE per il test automatico di componenti. Interagendo con il progetto parallelo EMPIR 17IND02 SMARTCOM "Communication and validation of smart data in IoT-networks" il laboratorio di igrometria ha codificato il primo proof of concept di certificato di taratura digitale (DCC) dell'INRiM sviluppato in collaborazione con il PTB. Un particolare algoritmo a bordo della macchina ATE può decodificare in autonomia il codice del DCC emesso e correggere le letture dei propri sensori e acquisire la riferibilità metrologica senza ausilio dell'intervento di un operatore.

Smorgon D., Fernicola V., Sousa J.A., Ribeiro L., Forbes A., Donlevy J., Jagan K., Tamburini E., Catto M., "MET4FOF Activity Report A3.1.6: Report on the implementation of a sensors network and its calibration method for the improvement of the metrological infrastructure of the SPEA testbed"

La *chairmanship* e il ruolo centrale nel *Working Group Environment* del CCT BIPM da parte di un ricercatore dell'INRiM, ha permesso di promuovere, formalizzare e organizzare un nuovo importante *Task Group* del CCT, dedicato a risolvere i numerosi problemi scientifici e tecnici nella misura della temperatura dell'aria, inclusa la sua definizione operativa, analisi di incertezza e riferibilità delle misure. Il gruppo di lavoro è stato formato e reso operativo con il kick-off meeting del Novembre 2021.

Formazione e co-chairmanship (A. Merlone) del nuovo Task Group "Air Temperature" del BIPM CCT

Rivestendo il ruolo di *chairperson* del "*Rapporteur and Expert Team on Climate Reference Stations*", un ricercatore dell'INRiM ha curato lo sviluppo e la preparazione alla Commissione di Climatologia del WMO (ora SERCOM) del documento in oggetto, frutto del lavoro di due anni dell'*expert team*. Tale iniziativa ha assicurato l'allineamento alle prescrizioni della GUM (*Expression of Uncertainty in Measurement*) e del VIM (*International Vocabulary of Metrology*) del documento prodotto. Dal lavoro coordinato dal ricercatore dell'INRiM è stata prodotta la raccomandazione SERCOM-1(II)/Doc. 5.1.3(4) Approvata dalla sessione plenaria della Commissione WMO il 26 Febbraio 2021.

Documento WMO "Climate reference Stations – prescriptions and requirements INRiM Lead Author (A. Merlone)

Nel 2021 è stato pubblicato il rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018 sulla preparazione di miscele di biossido di azoto in azoto alla frazione molare di $10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, che ha visto l'INRiM tra i partecipanti. I risultati del confronto, hanno dimostrato una notevole dispersione dei valori tra i partecipanti, particolarmente marcata nel caso di utilizzo di miscele gravimetriche rispetto a quelle dinamiche, essendo il biossido di azoto molto instabile, soprattutto a basse concentrazioni, come quella oggetto del confronto.

*Flores E., Viallon J., Idrees F., Moussay P., Wielgosz R., Shinji U., Cieciora D., Rolle F., Segal M., Sang-Hyub O., Macé T., Sutour C., "International comparison CCQM-K74.2018: Nitrogen dioxide, $10 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ", *Metrologia*, 58, 1A, 08018 (2021) (IF: 3.157)*

In questo lavoro, uno strato di grafene è stato utilizzato come materiale standard di riferimento per misurare le dimensioni dei volumi focali dei microscopi Raman di diversi spettrometri Raman confocali dotati di diversi obiettivi e lunghezze laser d'onda di eccitazione.

*Graphene edge method for three-dimensional probing of Raman microscopes focal volumes, Sacco, A., Portesi, C., Giovannozzi, A.M., Rossi, A.M., *Journal of Raman Spectroscopy*, 2021, 52(10), pp. 1671–1684*

INRiM ha sviluppato una nuova riferibilità dell'unità di corrente elettrica, l'ampere, nel campo delle piccole correnti continue nel campo dai picoampere ai microampere, basato su un amplificatore a transresistenza di altissima stabilità tarabile con il comparatore di correnti criogenico. Sui valori da 10 pA a 1 nA il nuovo sistema è confrontabile con quello, basato sulla carica di capacità, che copre il campo di correnti da 10 fA a 1 nA. Il confronto ha reso possibile per la prima volta la determinazione del coefficiente di frequenza dei condensatori in gas impiegati.

*L. Callegaro, C. Cassiogo, V. D'Elia, E. Gasparotto, E. Enrico, M Götz, "Comparison of Low DC Current Traceability Methods and Gas Capacitors AC–DC Dependence," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* vol. 70, pp. 1-6 (2021).*

Nell'ambito del progetto EURAMET TC-EM Collaboration in Research #1466 "Calibration of lock-in amplifiers", INRiM ha sviluppato un sistema per la taratura di amplificatori lock-in per piccoli segnali a frequenza entro il kHz. Il sistema, basato su componenti commerciali, permette di tarare il guadagno in tensione dello strumento con accuratezza migliore di almeno due ordini di grandezza rispetto alle specifiche tipicamente dichiarate. INRiM ha coordinato un confronto bilaterale con METAS, che dispone di un sistema analogo.

*A. Cultrera, D. Corminboeuf, V. D'Elia, N. T. M. Tran, L. Callegaro and M. Ortolano, "A new calibration setup for lock-in amplifiers in the low frequency range and its validation in a bilateral comparison," *Metrologia* vol. 58, p. 025001 (2021)*

Nell'ambito del progetto EMPIR-ChipSCALE è stato eseguito uno studio sistematico che coinvolge la simulazione e le tecniche sperimentali per sviluppare fotorecettori di silicio a giunzione indotta passivati con SiO_2 cresciuto termicamente e film sottili di SiN_x depositati per PECVD che mostrano un'efficienza quantistica record. Sono state ottimizzate le condizioni di deposizione dei film per ridurre al minimo le perdite di ricombinazione all'interfaccia silicio-dielettrico e le perdite ottiche. L'INRiM si è occupato della caratterizzazione e della modellazione delle proprietà ottiche dei materiali depositati. I fotodiodi sono stati assemblati come rivelatori a trappola di luce con 7-riflessioni e la loro efficienza è stata testata rispetto a un rivelatore PQED (Predictable quantum efficient detector) di riferimento di efficienza quantistica esterna nota. I risultati delle misurazioni preliminari mostrano che i PQED basati sui fotodiodi passivati con stack di $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ hanno carenze quantistiche trascurabili con IQD fino a 1 ppm entro un'incertezza di misura di 30 ppm.

Koybasi, O.; Nordseth, Ø.; Tran, T.; Povoli, M.; Rajteri, M.; Pepe, C.; Bardalen, E.; Manoocheri, F.; Summanwar, A.; Korpusenko, M.; Getz, M.N.; Ohlckers, P.; Ikonen, E.; Gran, J. "High Performance Predictable Quantum Efficient Detector Based on Induced-Junction Photodiodes Passivated with SiO₂/SiNx." *Sensors* 2021, 21, 7807. <https://doi.org/10.3390/s21237807>

E' stato pubblicato un position paper sull'EMN-Q

EURAMET EMN-Q: *The European metrology network for quantum technologies. Measurement: Sensors*, 18, 100348 (2021)
I. P. Degiovanni, M. Gramegna, S. Bize, H. Scherer, C. J. Chunnillall. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100348>

Realizzazione di un Relevant Set-up (single-photon OTDR, con Telsy)

Realizzazione, in collaborazione con Telsy, di un "portable optical time domain reflectometer (SP-OTDR), operating at single-photon level in the telecom wavelengths (1310 nm and 1550 nm)".

9.3 - KNOWLEDGE TRANSFER (KT)

La domanda di brevetto è relativa ad un dispositivo/sistema hardware basato su nanofili per l'implementazione di un "reservoir" per una rete neurale basata sul paradigma di computazione denominato "reservoir computing". Tale dispositivo affronta il problema di fornire un dispositivo per computazione neuromorfica in grado di processare input spazio-temporali e che permetta di minimizzare il numero di parametri da allenare in una rete neurale artificiale. In particolare, il dispositivo comprende i) una rete memresistiva di nanofili disposta su un substrato e una pluralità di elettrodi ciascuno collegato elettricamente ad almeno un nanofilo.

Milano, G., Ricciardi, C., Montano, K., Ielmini, D., Pedretti, G., *Dispositivo basato su nanofili per l'implementazione di un reservoir per una rete neurale, domanda numero 102021000019277, data di presentazione 21/07/2021*

Nell'ambito delle attività di disseminazione, il Settore ha organizzato a *Nanoinnovation 2021* (21-24 settembre 2021, La Sapienza, Roma) un workshop sui progetti EMPIR a cui i gruppi INRiM partecipano e che hanno attinenza con le Nanotecnologie *EMPIR toward the Green Deal: Quantum, Energy and Environment*. In questa occasione è stato organizzato anche uno *stakeholder meeting* del progetto EMPIR MemQud che ha visto la partecipazione di 33 persone, di cui 12 Stakeholders appartenenti all'industria e a centri di ricerca europei ed extraeuropei.

Nanoinnovation 2021, 21-24 settembre 2021, Roma

Nell'ambito del tema E-mobility INRiM ha organizzato i due workshop finali dei progetti MyRails "Metrology for smart energy management in electric railway systems" e MICEV "Metrology for inductive charging of electric vehicles", inerenti i temi della metrologia applicata alla ricarica induttiva dei veicoli elettrici e ai trasporti ferroviari. I due eventi hanno occupato ciascuno l'arco di una giornata e hanno visto una nutrita partecipazione sia dell'accademia che dell'industria. I due workshop resi disponibili online hanno avuto complessivamente circa 1300 visualizzazioni.

Workshop finale del progetto 16ENG08 MyRails, 28/01/2021, circa 900 visualizzazioni online e Workshop finale del progetto 16ENG08 MICEV, circa 400 visualizzazioni online, 25/02/2021

Nell'ambito del progetto MICEV, INRiM con i colleghi di inglesi di NPL, francesi di CNRS, spagnoli della fondazione CIRCE, svedesi di RISE e del Politecnico di Torino, ha redatto una guida per la valutazione della conformità di stazioni di ricarica induttiva alle emissioni di campo elettromagnetico.

16ENG08 EMPIR MICEV consortium, "Best practice guide for the assessment of EMF exposure from vehicle Wireless Power Transfer systems", Edited by R. Guilizzoni, S. Harmon, M. Zucca, ISBN: 978-88-945324-1-8, available online at: <https://www.micev.eu/> - 2021

Il workshop, *A combined approach for the treatment of tumours*, organizzato dall'INRiM, in collaborazione con il PTB, ha costituito un'occasione di confronto tra i centri di cura europei per le patologie oncologiche e i partner del progetto di ricerca europeo EMPIR 18HLT06 *RaCHy*. Nell'ambito del Workshop sono stati discussi i risultati ottenuti dal progetto, oltre che definire, insieme ai diretti interessati, le azioni di ricerca più idonee da intraprendere per massimizzare l'impatto sul mondo clinico e preclinico. Il Workshop, svolto in modalità ibrida, ha visto coinvolte circa 100 persone, con una media di partecipazione durante i lavori di 70 persone, provenienti, per più del 50%, dal mondo della ricerca in ambito biomedicale.

Al fine di aumentare la platea dei potenziali interessati ai lavori normativi del comitato CEI CT 29/87 "Elettrocacustica e Ultrasuoni" è stato organizzato un workshop (in modalità telematica gestito dal CEI), rivolto ad aziende che operano, a vario titolo, nell'ambito delle misurazioni acustiche. In particolare, sono stati analizzati i Work Programme 2021 dei comitati tecnici IEC TC 29 "Electroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics", specificando le attività dei vari WGs. Inoltre, sono stati mostrati i documenti di IEC TC 29/87 votati nel corso del 2021 con i relativi esiti delle votazioni, nonché lo stato di avanzamento del loro iter di approvazione.

Workshop CEI: IEC TC 29/87 – Attività 2021, 8 Ottobre 2021

Al fine di migliorare i metodi di qualificazione di camere semi-anecoiche, alla luce delle novità introdotte dalla norma di riferimento UNI ISO 26101:2017, sono stati realizzati e caratterizzati un sistema automatico di movimentazione e posizionamento del microfono di misura nei punti di rilevazione stabiliti dalla norma, ed un sistema di acquisizione e analisi delle misure. L'attività ha permesso la qualificazione della camera semi-anecoica del Consorzio Studi e Ricerche CSR S.r.l. della ditta SCM Group S.p.A, situata presso Rimini.

Nell'ambito del Progetto EMPIR 18HLT05 QUIERO sono stati realizzati *phantom* antropomorfi che simulano i tessuti cerebrali (materia bianca e materia grigia) utilizzando tecniche di stampa e riempimenti innovativi. Le caratteristiche di tali *phantom* sono risultate di interesse per l'azienda Siemens coinvolta nel settore dell'*imaging* biomedicale e, in particolare, nello sviluppo di nuovi sistemi per l'*imaging* quantitativo basato su risonanza magnetica. È stato stipulato un Nda tra INRiM e Siemens, a cui seguirà un incontro tra le parti coinvolte per valutare la richiesta di Siemens e l'impegno di INRiM nel fornire un materiale di riferimento che risponda ai requisiti richiesti.

Sigla di un Nda tra INRiM e Siemens relativo allo sviluppo di materiali di riferimento per MRI di tipo quantitativo.

Nell'ambito delle attività di disseminazione, il Settore ha partecipato alle iniziative della *Giornata Mondiale della Metrologia* con diversi contributi sul tema salute, comprendenti la misurazione di SARS-CoV-2 mediante la tecnica PCR, lo studio di materiali per applicazioni biomedicali, quali l'ipertermia magnetica, il *drug delivery* e la medicina rigenerativa, e la misura di metalli accumulati nei capelli di pazienti portatori di protesi. Tali contributi sono stati organizzati in diversi eventi nelle giornate del 19 e 20 maggio 2021, quali una conferenza rivolta agli stakeholder del settore ed introdotta dal Ministro del MUR, un workshop mirato all'ambiente scientifico (università e enti di ricerca), una diretta social allargata ad un pubblico più esteso e diversi seminari dedicati agli studenti universitari e delle scuole elementari, medie e superiori.

Partecipazione agli eventi della Giornata Mondiale della Metrologia, dedicata alla ricerca metrologica nel campo della salute.

Tutti i corpi si dilatano termicamente; per tolleranze e misure è necessario accordarsi sulla *temperatura di riferimento*. La [UNI EN ISO 1](#) stabilisce che la *temperatura normale di riferimento* per le grandezze dimensionali è 20 °C. L'ISO, fondato nel 1947, ritenne prioritario l'argomento e vi dedicò la sua prima norma (1951); essa è ora alla terza edizione (2016). Il CCL si accorse nel 2018 di una possibile ambiguità: era il valore di 20 °C della temperatura termodinamica o di quella internazionale Celsius (secondo la ITS-90 *International Temperature Scale 1990*). La differenza di 2,8 mK a 20 °C, pari ad una dilatazione di 3×10^{-8} per l'acciaio, è piccola ma rilevabile nelle tarature più accurate. Dopo consultazione con il CCT, il punto fu portato allo ISO/TC 213/WG 4, che ha iniziato un progetto normativo di revisione. L'INRiM ha avuto un ruolo di primo piano: presiede il CCL/WG MRA, coordina lo ISO/TC 213/WG 4, ed ha condotto il progetto di revisione. È stato consegnato ad ottobre il testo finale pronto per l'inchiesta internazionale FDIS (*Final Draft International Standard*), ultimo atto tecnico prima del passaggio del progetto agli uffici centrali ISO; si prevede la pubblicazione a metà del 2022. Il progetto risulterà assai efficiente (30 mesi soltanto), in collaborazione fra organi tecnici dell'ISO e del BIPM. Ciò ha anche aperto la strada per una collaborazione (*liaison*) fra BIPM e ISO/TC 213, formalizzata all'inizio del 2022; il funzionario di collegamento è un rappresentante dell'INRiM.

Il progetto europeo EMPIR EUCoM terminato a novembre ha sviluppato tre metodi per la valutazione dell'incertezza delle misure a coordinate. L'argomento è di grande interesse industriale perché riguarda un nervo scoperto del controllo dimensionale praticato quotidianamente in quasi tutte le imprese manifatturiere. Lo scopo del progetto era di far recepire tali metodi in norme. L'attività di normazione è però lenta per procedura, con durata media dei progetti normativi di (3 - 5) anni. Per dare sbocco divulgativo immediato, si sono organizzati una serie di seminari in modalità remota (*webinar*). Per venire incontro alle difficoltà linguistiche di comprensione dei partecipanti, i seminari sono stati tenuti nazione per nazione in lingua

nazionale; ciò ha permesso anche di adattare i contenuti generali alle esigenze specifiche del tessuto industriale di ogni Paese. Ne sono risultati 10 tenuti (virtualmente) in Italia, Repubblica Ceca, Germania, Giappone, Spagna, Polonia, Regno Unito, Turchia, Estonia e Danimarca. I seminari nazionali sono stati preceduti da una sessione plenaria (in inglese) dove sono stati trattati gli argomenti generali del progetto e dei metodi sviluppati, registrando più di 200 partecipanti. Le sessioni nazionali (circa (400 – 500) partecipanti complessivi) si sono rivolte al chiarimento di singoli aspetti a richiesta dal pubblico, e alla condivisione dell'esperienza maturata dai singoli partner di progetto durante la campagna sperimentale di validazione dei metodi. Le registrazioni delle sessioni sono disponibili liberamente sul [sito del progetto](#) e su [Zenodo](#).

<https://eucom-empir.eu/seminars/>

L'articolo descrive un sistema di misura appositamente sviluppato per la verifica di contatori in condizioni di regime distorto nell'ambito della Convenzione INRiM-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".

Callegaro L., Aprile G., Cultrera A., Galliana F., Germito G., Serazio D., Trincherà B., A calibration-verification testbed for electrical energy meters under low power quality conditions, Measurement Sensors 18, 100188 (2021)

Nell'ambito del progetto EMPIR 17IND12 MET4FOF "Metrology for the factory of future" nel laboratorio di igrometria primaria è stata implementata una nuova *facility* di misura per la taratura di lotti di MEMS e sensori ad uscita digitale per la misura della temperatura. Il primo servizio di taratura per questa *facility* è stato offerto al partner industriale di progetto SPEA s.p.a. che ha partecipato alla realizzazione della *facility* ed ha costituito uno dei test-bed del progetto. L'INRiM ha fornito la taratura di un lotto di 64 sensori ad uscita digitale TI TMP117 per la misura della temperatura. A seguito della taratura i responsabili dell'attività hanno sviluppato una *best practice guide* ed un video-corso destinati a tutti i partner del progetto e gli *stakeholder*.

Smorgon D., Fericola V., MET4FOF Activity Report A4.3.3: Guide for temperature calibration of reference sensors for MEMS and automated testing equipment.

Video-corso / Tutorial: Calibration of a reference fixture to provide measurement traceability to improved ATEs for temperature MEMS testing. Presenter: Smorgon D.

L'evento è stato organizzato, in modalità virtuale, dall'INRiM e dal Politecnico di Torino. Arrivato alla sua seconda edizione, il workshop è stato congiuntamente promosso dalla *European Network for Business and Industrial Statistics* (ENBIS) e della *EMN for Mathematics and Statistics* (MATHMET), offrendo sessioni organizzate (61 presentazioni orali e 8 poster) su svariati argomenti di matematica e statistica per la metrologia (*uncertainty evaluation, machine learning for metrology, digital twins and virtual experiments, inverse problems, methods for sensor calibration, designs of measurement experiments, flow simulations*) e su specifiche tematiche relative a progetti EMPIR di pertinenza (EMUE, RaCHy, QUIERO, MATHMET). Il numero totale di partecipanti ha superato le 120 persone, in collegamento da tutto il mondo e dai più svariati ambiti lavorativi (NMI, università, industrie, istituti di ricerca, enti di accreditamento).

Joint Workshop of ENBIS and MATHMET "Mathematical and Statistical Methods for Metrology" Virtual Workshop, 31 May - 1 June 2021 (<http://www.msmm2021.polito.it/>)

L'evento è stato promosso e organizzato da ricercatori afferenti al settore AE05 dell'INRiM e si è svolto in modalità ibrida sia in presenza sia con partecipanti collegati via web. Sono stati trattati diversi temi in metrologia per la meteorologia e il clima e ha ospitato riunioni di due progetti EMPIR (19SIP03-CRS e 18NRM03-INCIPIT) e un meeting in persona tra ET-Chairs e WMO *Secretariat*. Il numero totale di partecipanti ha raggiunto 80 persone, con collegamenti da tutti i continenti e 15 in presenza.

Waiting for MMC 2021 International conference in Jezersko (Slovenia) 26-28 October 2021

L'evento, relativo a temi legati alla metrologia in chimica, organizzato congiuntamente tra IUPAC e CITAC, ha visto il contributo di ricercatori dell'INRiM sia nel ruolo di moderatore sia tra i relatori. Il seminario, tenutosi online, ha avuto relatori provenienti da quattro diversi continenti, con presentazioni che hanno spaziato dalla valutazione di conformità alla metrologia forense, ai materiali di riferimento. Vi sono stati più di 100 partecipanti, collegati da tutto il mondo.

IUPAC/CITAC Web-seminar "Metrology, Quality and Chemometrics - Correlation of Test Results and Mass Balance Influence on Conformity Assessment", 21 January 2021 (<https://www.citac.cc/2021-iupac-citac-webinar-metrology-quality-and-chemometrics-correlation-of-test-results-and-mass-balance-influence-on-conformity-assessment/>)

INRiM e il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) hanno stipulato la convenzione "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". Nell'ambito di questa convenzione, allo stato attuale sono state identificate le condizioni di taratura e verifica dei contatori in regime sia sinusoidale che di bassa power quality. Il sistema a carico fittizio per la generazione di onde di contenuto armonico programmabile è stato testato per riprodurre sia forme d'onda da normativa che forme derivate da campionamenti sul campo di veri impianti industriali.

L. Callegaro, G Aprile, A Cultrera, F Galliana, G Germito, D Serazio, B. Trinchera, "A calibration-verification testbed for electrical energy meters under low power quality conditions," Measurement: Sensors 18, 100188

INRiM coordina due progetti normativi in ambito IEC TC 113, TS 62607-6-7 ([link](#)) e TS 62607-6-8 ([link](#)) che sono passati allo stadio "committee draft" nel 2021. L'attività è stata riconosciuta da IEC con il conferimento del "1906 Award".

<https://ceimagazine.ceinorme.it/ceifocus/iec-1906-award/>

Docenza corso on line per Università degli Studi dell'Insubria di Como (dal 20/05/2021 al 05/06/2021) - Genovese Marco: "Quantum Imaging".

Docenza on line per Scuola di Formazione scientifica Luigi Lagrange di Torino (dal 01/03/2021 al 30/04/2021) - Genovese Marco: corso studenti medi sulla meccanica quantistica e le tecnologie quantistiche.

Nell'ambito del progetto Element 2 Make - Rb POP EQM Industrialization è stato pubblicato un articolo che riassume i risultati ottenuti col prototipo di orologio POP realizzato all'INRiM e discute le problematiche legate a una sua implementazione per lo spazio.

Micalizio, S; Levi, F; Calosso, CE; Gozzelino, M.; Godone, A, pulsed-Laser Rb atomic frequency standard for GNSS applications, GPS SOLUTIONS Volume 25, Article Number 94

Nell'ambito del progetto SYNERGIA, INRiM ha realizzato per METAS (CH) l'apparato per la disseminazione di segnali di riferimento di frequenza in fibra ottica e ha fornito la consulenza necessaria alla sua implementazione fra istituti di ricerca svizzeri, per applicazioni di spettroscopia.

D. Husman, C. Clivati, D. Calonico et al., "SI-traceable frequency dissemination at 1572.06 nm in a stabilized fiber network with ring topology," Opt. Expr. 29, 24592 (2021).

E' stato realizzato un lavoro su un sistema innovativo per laser a diodo a cavità estesa. Il laser è oggetto di brevetto italiano (attualmente alla fase internazionale). Il lavoro scientifico presenta le principali caratteristiche del laser, e dimostra come può essere usato per spettroscopia atomica e molecolare. Si tratta del risultato scientificamente più rilevante del progetto ERC Proof-of-Concept SLAQ.

L. Duca, E. Perego, F. Berto, C. Sias "Design of a Littrow-type diode laser with independent control of cavity length and grating rotation" Opt. Lett. 46, 2840 (2021).

9.4 – IL PANORAMA DEI PRODOTTI 2021 DELL'INRiM

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

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

Le due tabelle successive riportano la sintesi delle pubblicazioni dell'Istituto, mostrando prima il loro andamento nell'ultimo triennio e in seguito la distribuzione nelle Divisioni per l'anno 2021.

Tabella 4 – Sintesi delle pubblicazioni nel periodo 2019-2021 suddivise tra R&S, NMI e KT

Tipologia	2019			2020			2021			
	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	
Monografie	2	-	2	4	3	1	-	1	1	
Articoli su riviste indicizzate (2021: IF medio ¹ = 4.9)	167	130	35	194	161	31	2	140	30	6
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	10	7	-	24	17	4	3	11	3	5
Articoli su atti di congresso	57	33	22	44	27	14	3	29	16	2
Rapporti tecnici	23	7	16	43	20	21	2	16	19	2
Datasets	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-
Totali	259	177	73	309	228	71	10	206	69	15

¹ IF medio 2020: 4.2; IF medio 2019: 3.8

Tabella 5 – Distribuzione delle pubblicazioni 2021 nelle Divisioni (R&S, NMI e KT)

Tipologia	ML			AE			QN			DS	TOT		
	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT		R&S	NMI	KT
Monografie	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	
Articoli su riviste indicizzate	64	2	1	37	13	3	33	15	2	6(R&S) ⁶	140	30	6
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	6	-	-	1	-	3	4	3	1	1 (KT) ⁷	11	3	5
Articoli su atti di congresso	13	1	-	12	2	1	4	13	1	-	29	16	2
Rapporti tecnici	-	1	-	13	8	-	3	10	2	-	16	19	2
Datasets	5	-	-	2	-	-	2	-	-	-	9	-	-
Totali	89	4	1	65	24	7	46	41	6	7	206	69	15

Si segnala che, a partire dal 2021, sono stati censiti anche i datasets, che mostrano i dati utilizzati per la pubblicazione di un paper o che rappresentano l'output di un progetto; si tratta di prodotti importanti dal punto di vista dei risultati che riportano e sono significativi sul fronte del tema Open Science.

⁶ Pubblicazioni del Direttore Scientifico

⁷ Pubblicazione associato Direzione Scientifica

Trattandosi di una nuova categoria introdotta per la prima volta nella raccolta dati, il numero di questi datasets è piuttosto esiguo; si auspica di incrementare il numero di prodotti censiti per la Relazione Consuntiva 2022.

La tabella 6 riporta i dati relativi ad altri prodotti dell'Istituto, mostrando in particolare il panorama dei progetti su contratto e delle attività NMI dell'INRiM (servizi conto terzi, CMC e confronti internazionali).

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

E' da segnalare che, poichè parte della certificazione è commissionata dalle industrie, i dati relativi a certificati di taratura e misura, rapporti di prova e relazioni ILC sono riportati anche nella tabella 7.

Tabella 6 – Progetti, attività servizi conto terzi e altri prodotti

Descrizione	2019			2020			2021		
	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT	R&S	NMI	KT
Progetti di ricerca attivi nell'anno	50	29	25	53	29	27	60	24	37
di cui nuovi	14	10	11	14	7	12	24	1	20
Certificati di taratura e misura		1.624			1.585			1.892	
Rapporti di prova e relazioni		40			49			48	
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider)		138			115			176	
CMC pubblicate sul KCDB del BIPM		403			419			442	
Laboratori accreditati ⁸		206			219			228	
Procedure di taratura		213			236			246	
Documenti e procedure del Sistema Qualità		26			24			22	
Confronti chiave e internazionali		47			55			50	
On site peer review visits (di NMI stranieri)		1			1			1	
Progetti di strumenti, apparati o impianti	12	7	1	17	5	1	8	-	1
Manufatti e realizzazioni di rilievo	17	14	2	20	24	3	29	12	-

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

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

Tabella 7 - Knowledge transfer – certificazione, brevetti, formazione e divulgazione scientifica

Descrizione	2019	2020	2021
	<i>KT</i>	<i>KT</i>	<i>KT</i>
Certificati di taratura e misura ⁹	1.624	1.585	1.892
Rapporti di prova e relazioni ⁹	40	49	48
Relazioni ILC emesse (INRiM Proficiency Testing Provider) ⁹	138	115	176
Brevetti ¹⁰ depositati in Italia o all'estero	-	3	2
Estensioni di brevetto all'estero	1	-	-
Dottorati (triennali) attivati nell'anno	5	6	15
Tesi concluse nell'anno (dottorato)	12	13	6
Totale percorsi per laurea magistrale (tesi II livello)		20	20
Tesi di II livello	8	10 concluse nel 2020 10 in corso	16 concluse nel 2021 4 in corso
Tirocini curriculari /tesi per laurea triennale	60	32	34
Tesi di I livello	24	16 concluse nel 2020	11 concluse nel 2021
Tirocini extracurriculari post laurea magistrale	2	-	2
Tirocini extracurriculari post diploma	19	20	-
Stage PCTO (ex ASL) per scuola secondaria di II grado	32	4	-
Ricercatori stranieri presso INRiM (mesi-persona)	36	22	11
Ricercatori INRiM all'estero (mesi-persona)	17	11	11
Seminari INRiM di esperti esterni	15	1	-
Organizzazione congressi, convegni, scuole, seminari e riunioni tecniche	29	22	24
Organizzazione/partecipazione ad eventi di divulgazione scientifica	17	11	11
Web communications (eventi, giornate internazionali e nazionali, congressi, seminari, progetti, workshop, meeting)	-	49	77
Media communications	82	38	38
Comunicati stampa		10	5

⁹ Si vedano le indicazioni riferite alla tabella 6.

¹⁰ Sono censiti sia i brevetti depositati da INRiM sia quelli di "inventori" dell'INRiM, ma depositati da altri organismi, in genere partner industriali. Sul basso numero di brevetti depositati, valgono le considerazioni già espresse sulla tendenza dei ricercatori a dare maggiore importanza alla pubblicazione che non al brevetto e sulle difficoltà/costi della gestione delle procedure brevettuali. Si continuerà a incoraggiare questa attività, operando per una sua maggiore valutazione rispetto ad altri "prodotti".

10 – LE PUBBLICAZIONI

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

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

Anche l'ANVUR, per 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 primo semestre del 2021 si sono svolte le operazioni di conferimento dei prodotti per la Valutazione della Qualità della Ricerca 2015-2019, che ha riguardato non solo la valutazione delle pubblicazioni ma anche quella delle attività di Terza Missione. Il conferimento delle pubblicazioni ha coinvolto buona parte del personale della Direzione scientifica dell'INRiM; un contributo significativo è stato dato dal Gruppo di lavoro per l'Open Science dell'istituto, che si è impegnato, in considerazione delle nuove regole sull'Accesso Aperto dettate dal bando VQR 2015-2019, ad operare una prima selezione dei prodotti presentati dall'INRiM per la valutazione, svolgendo così la propria funzione di controllo e di supervisione sull'effettivo Accesso Aperto dei file presenti nell'Archivio istituzionale (METRICA).

Le tabelle successive mostrano il panorama degli articoli pubblicati nell'ultimo triennio e, per l'anno 2021, il dettaglio relativo alle tre Divisioni (i dati, ripartiti tra R&S, NMI e Terza Missione, sono riportati anche nelle tabelle 4 e 5 nel capitolo precedente).

L'elenco dei prodotti 2021 è contenuto nel documento "Risultati e dati 2021".

Tabella 8 – Pubblicazioni 2019-2021

Tipologia	2019	2020	2021
Monografie	2	4	2
Articoli su riviste indicizzate (2021: IF medio ¹ = 4.9)	167	194	176
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	10	24	19
Articoli su atti di congresso	57	44	47
Rapporti tecnici e datasets ²	23	43	37+9
Totali	259	309	290

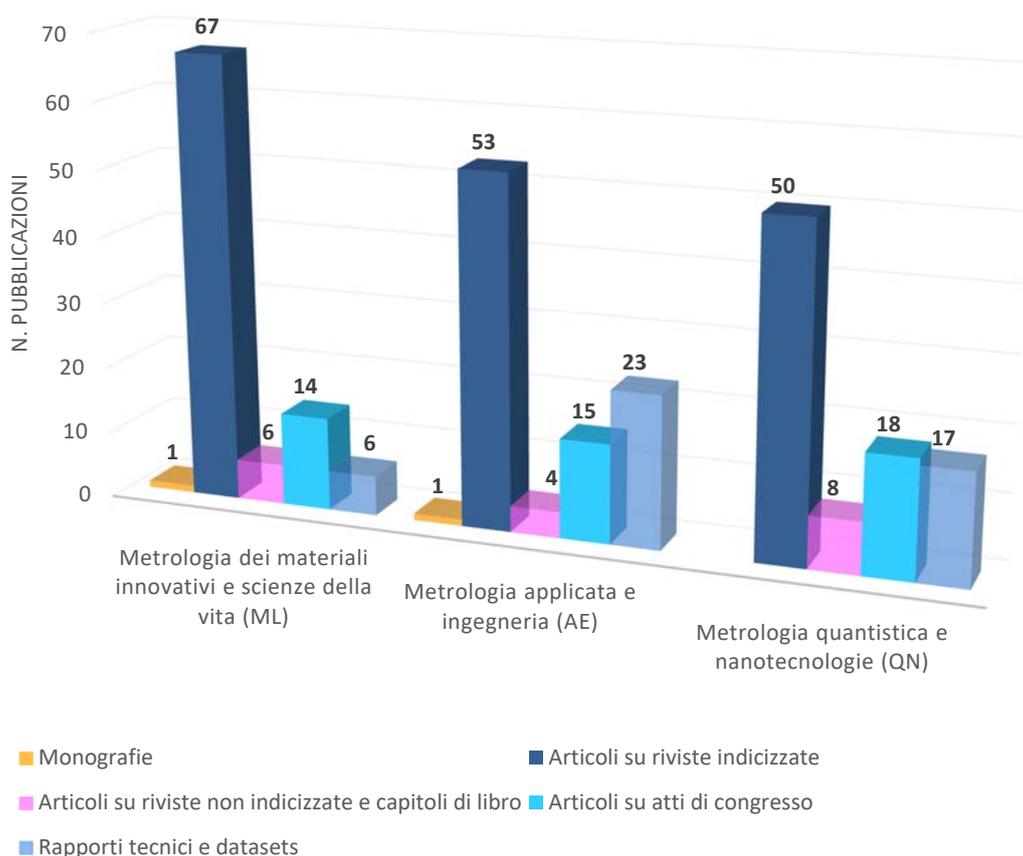
¹ IF medio 2020: 4.2; IF medio 2019: 3.8

² Il censimento dei datasets è stato effettuato a partire dal 2021.

Tabella 9 – Distribuzione delle pubblicazioni 2021 nelle Divisioni

Tipologia	ML	AE	QN	PRES/DS/SIR	TOT
Monografie	1	1	-	-	2
Articoli su riviste indicizzate	67	53	50	6(DS ¹¹)	176
Articoli su riviste non indicizzate e capitoli di libro	6	4	8	1 (Direz. Scientifica ¹²)	19
Articoli su atti di congresso	14	15	18	-	47
Rapporti tecnici e datasets	6	23	17	-	46
Totali	94	96	93	7	290

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



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

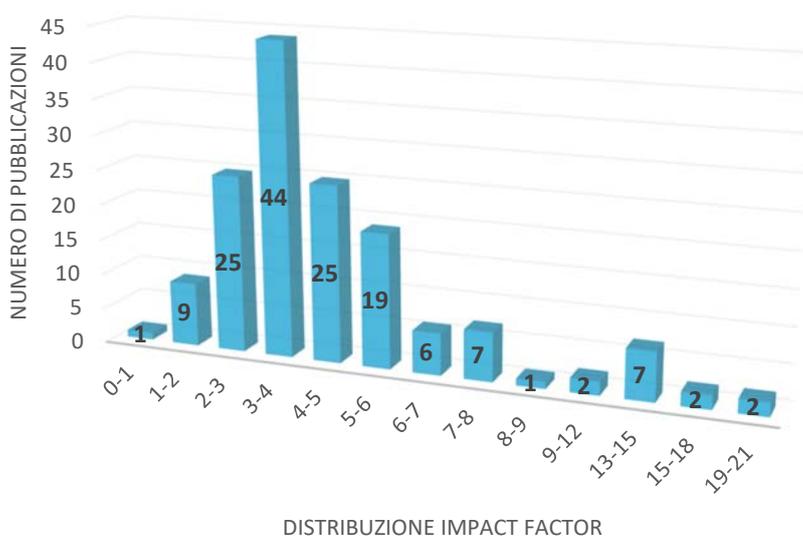
¹¹ Pubblicazioni del Direttore Scientifico

¹² Pubblicazione associato Direzione Scientifica

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

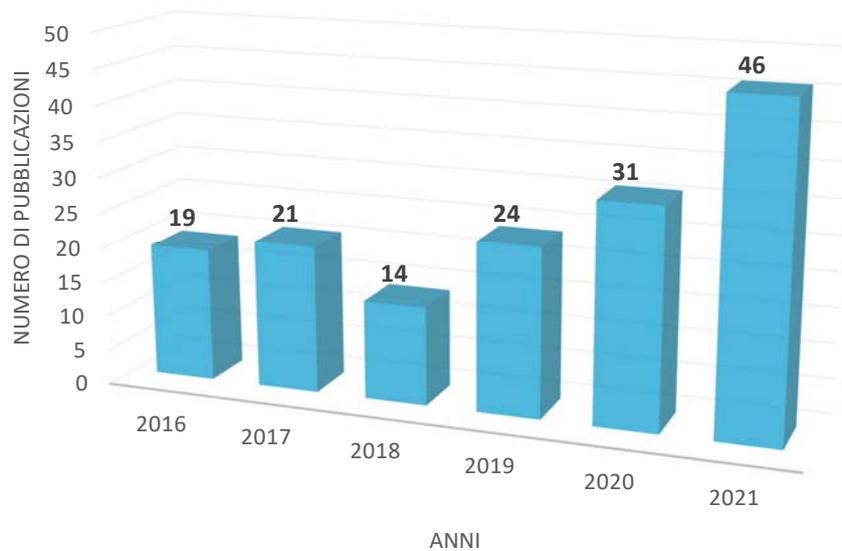
- il numero di pubblicazioni su rivista indicizzata con IF dell'anno 2021 con almeno un autore INRiM;
- la distribuzione per IF delle riviste scientifiche su cui si è pubblicato.

A differenza del 2020, si segnala una consistente diminuzione delle pubblicazioni su rivista con IF da 0 a 3 e un aumento significativo delle pubblicazioni su rivista con IF da 4 a 8 (con un apprezzabile risultato per il valore da 13 a 15).



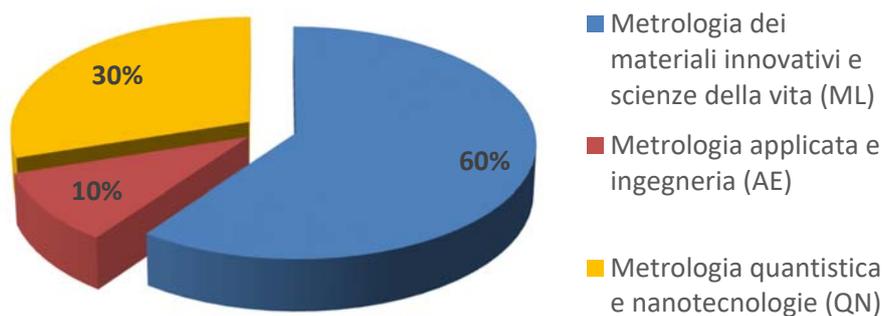
L'istogramma qui proposto indica sulle ascisse l'IF delle pubblicazioni, scalato per valori da 0 a 21, e nelle ordinate il numero di pubblicazioni raggruppate per IF.

Il grafico seguente riporta invece il numero di pubblicazioni indicizzate, prodotte tra il 2016 e il 2021, con un valore di IF maggiore di 5; l'andamento del grafico evidenzia che le pubblicazioni INRiM con il valore di IF considerato sono aumentate considerevolmente nel 2021, distaccandosi nettamente dai valori degli anni precedenti; la tendenza all'incremento si è nettamente consolidata con il 2021.



Pubblicazioni 2016-2021 con IF maggiore di 5.

La distribuzione, nelle Divisioni, delle pubblicazioni 2021 con IF maggiore di 5 (rilevate nell'istogramma precedente) è riportata nel grafico a seguire.



Pubblicazioni 2021 con IF maggiore di 5: distribuzione nelle Divisioni.

11 – I SERVIZI ATTIVITA' CONTO TERZI

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

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

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

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

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

Sono state concluse le attività di indagine istruttoria del tavolo di lavoro sulle attività conto terzi, ed i risultati sono stati presentati nei primi mesi del 2021.

Si è avviata l'aggiornamento dell'offerta dei servizi di taratura e misura che porterà nel 2022 alla pubblicazione del nuovo catalogo dei servizi di metrologia.

È stata avviata la periodica indagine di customer satisfaction con l'invio di oltre 600 questionari ai committenti che si concluderà nel 2022.

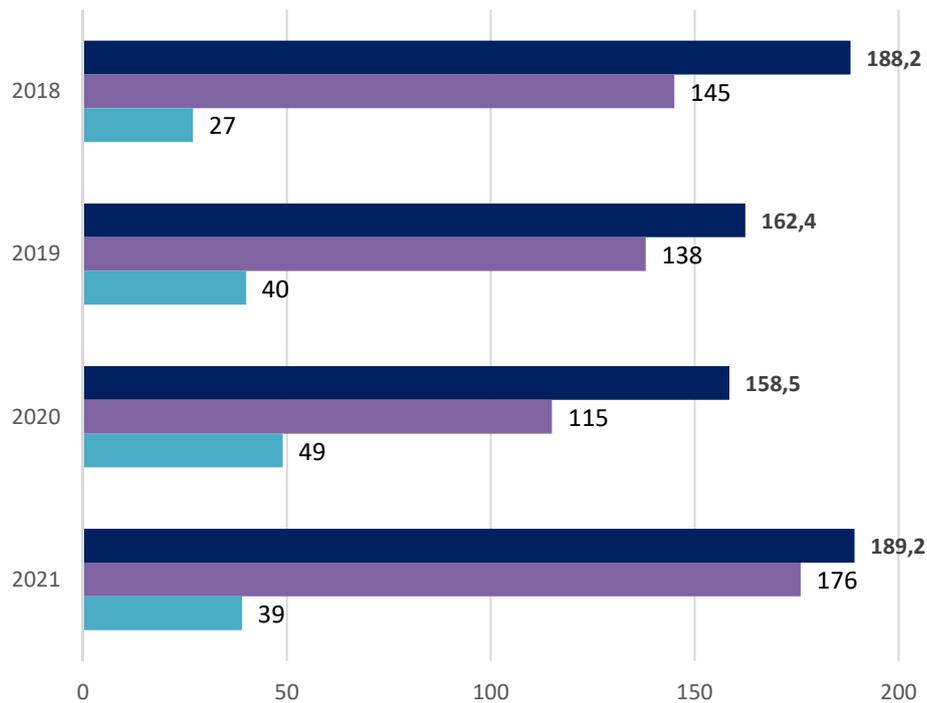
Nel 2021 sono stati emessi dall'Istituto 1.892 certificati di taratura e misura nelle diverse aree metrologiche e 48 tra rapporti di prova, test report LOVAG ACAE e relazioni. Sulla base delle esigenze dei committenti, sono stati proposti 40 circuiti di confronti interlaboratorio (ILC) di taratura e sono state emesse 176 relazioni di confronto ILC.

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

Tabella 10 – Documenti servizi conto terzi emessi nel quadriennio 2018- 2021

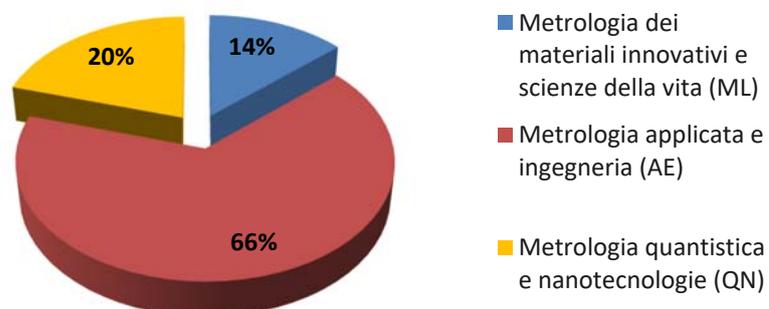
ANNO	CERTIFICATI DI TARATURA E MISURA	RELAZIONI ILC	RAPPORTI DI PROVA E RELAZIONI
2018	1.882	145	27
2019	1.624	138	40
2020	1.585	115	49
2021	1892	176	48

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

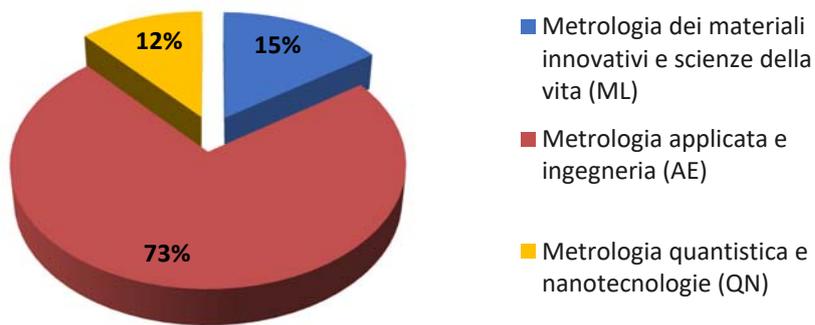


Documenti emessi nel quadriennio 2018-2021.

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



Documenti emessi dalle Divisioni nel 2021.



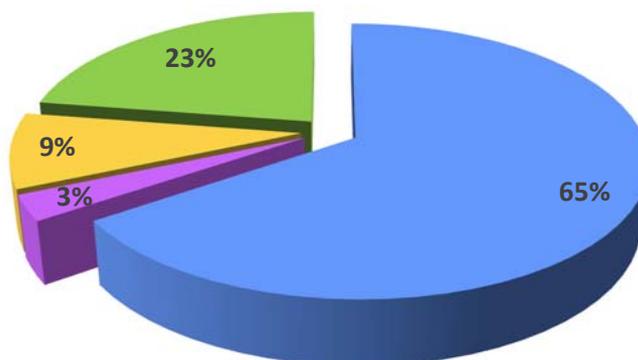
Ripartizione dell'incassato 2021 tra le Divisioni.

12 – I PROGETTI

L'INRiM finanzia la propria attività di ricerca partecipando ai programmi di finanziamento di ricerca internazionali, europei, nazionali e regionali, ma anche sottoscrivendo convenzioni e accordi con industrie nell'ambito dell'attività di ricerca commissionata; l'attività progettuale con cui l'INRiM integra le risorse del FOE è sintetizzata nella tabella e nel relativo grafico a seguire, che si riferiscono ai dati sui progetti attivi nel 2021.

Tabella 11 – Distribuzione, per tipologia, dei progetti attivi nel 2021

ENTE FINANZIATORE	NUMERO PROGETTI PER TIPOLOGIA DI FINANZIAMENTO	FINANZIAMENTO TOTALE PROGETTI (k€)	% SUL TOTALE
Unione Europea (H2020)	75	13.324	65%
Enti di ricerca, Università, Organizzazioni, Agenzie (internazionali)	7	612	3%
MUR, MISE, Università, Enti di Ricerca, Fondazioni (nazionali)	11	1.818	9%
Industrie nazionali e internazionali	28	4.587,5	23%
Totale	121	20.341,5	100%



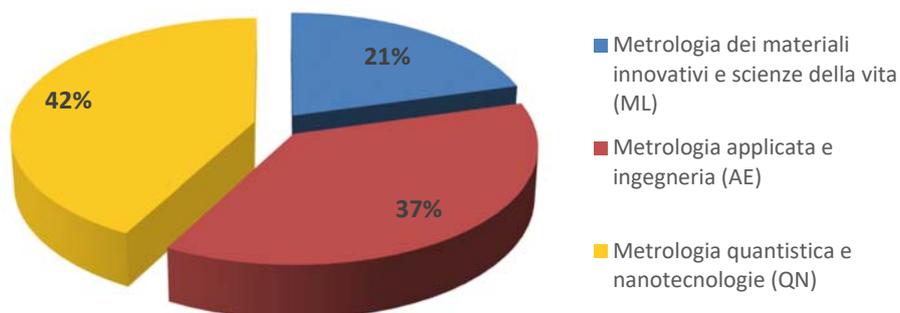
- UNIONE EUROPEA (H2020)
- Enti di ricerca, Università, Organizzazioni, Agenzie (internazionali)
- MIUR, MISE, Università, Enti di Ricerca, Fondazioni (nazionali)
- Industrie nazionali e internazionali

Distribuzione dei finanziamenti dei progetti attivi nel 2021.

I dati sopra rappresentati non si riferiscono ai finanziamenti introitati o da introitare nel 2021 ma riportano il finanziamento totale, come da contratto, dei progetti attivi nell'anno; sono stati considerati tutti i progetti attivi, comprendendo sia i progetti iniziati prima del 2021, che i progetti avviati nel 2021. Considerando la diversa durata della vita di ciascun progetto, il periodo coperto dai 121 progetti attivi nel 2021 si estende dal 2015 al 2027.

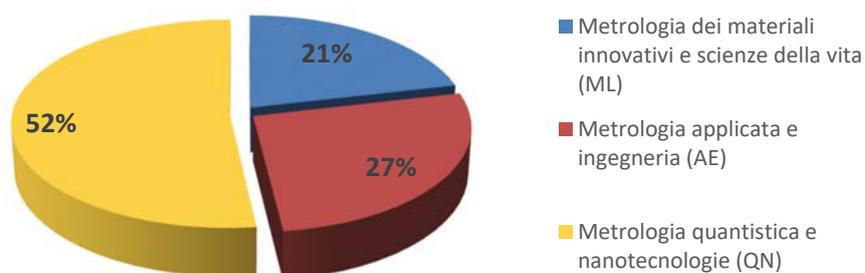
I grafici successivi mostrano la distribuzione percentuale dei progetti dell'INRiM nelle tre Divisioni.

Il prospetto seguente mostra la numerosità, in percentuale, dei 121 progetti presi in esame nelle tre Divisioni, indipendentemente dalle tipologie riportate nella tabella iniziale.



Distribuzione, nelle Divisioni, dei progetti attivi nel 2021.

Nel grafico a seguire sono invece indicate le distribuzioni percentuali di ciascuna Divisione riferite al finanziamento da progetti, indipendentemente dalle tipologie riportate nella tabella 11.



Distribuzione, nelle Divisioni, dei finanziamenti relativi ai progetti attivi nel 2021.

I progetti finanziati dalla Commissione Europea in cui è coinvolto l'INRiM sono 75 e, poiché costituiscono il 65% 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 attivo per il periodo 2014-2020.

Di particolare rilievo è la partecipazione ai progetti 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 *Pre-commercialization of stable and compact lasers for atom based quantum technologies (SLAQ)*, mentre partecipa, in qualità di parter terzo, al progetto *Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)*, progetto coordinato dal Politecnico di Torino ma "unfunded" per l'INRiM.

Sono proseguite nel 2021 anche le attività legate ai seguenti progetti:

- *Magnetolectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetolectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)*
- *Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)*
- *Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)*,
- *Photonic and nAnomeTric High-sensitivity biO-Sensing (PATHOS)*
- *Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)*
- *Clock Network Services - Design Study (CLONETS-DS)*
- *Highly sensitive detection of single microwave photons with coherent quantum network of superconducting qubits for searching galactic axions (SUPERGALAX)*
- METROFOOD-PP (METROFOOD-RI Preparatory Phase Project)

Nle 2021 sono stati avviati due nuovi progetti H2020, descritti qui di seguito.

Il progetto H2020 *Metrology for Integrated Marine Management and Knowledge-Transfer Network (MINKE)* si propone l'integrazione delle principali infrastrutture di ricerca europee nel campo della metrologia marina per coordinarne l'uso e lo sviluppo. Il progetto è dotato di un budget totale di circa 5.000 K€ e propone un quadro innovativo per la qualificazione dell'informazione oceanografica per il monitoraggio e la gestione degli ecosistemi marini basato su due dimensioni di qualità, l'accuratezza e la completezza dei dati acquisiti. Il finanziamento per l'INRiM ammonta a 186 k€.

Il progetto H2020-LC-GF-2020-3 *Living impact on fetal evolution: shelter-analyze-validate-empower regulations (LIFESAVER)* si basa su un'idea originale di ibridazione di diverse tecnologie innovative, integrando sistemi digitali in silico/in vitro (biodigitaltwin), consentendo uno screening efficace di prodotti chimici e farmaceutici che potrebbero influire sulla salute delle donne in gravidanza. L'obiettivo è la creazione di un nuovo sistema in vitro clonato digitalmente per l'emulazione delle condizioni prenatali. Il finanziamento per l'INRiM è di 402 k€.

Dei 75 progetti finanziati dall'Unione Europea, 63 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 riporta i nuovi progetti EMPIR avviati nel 2021, selezionati all'interno della call EMPIR 2020, dedicata ai temi Industry, Fundamental, Normative, Support For Networks & Support For Impact; sono indicati in grassetto i 4 progetti coordinati dall'Istituto; il finanziamento Euramet complessivo ricevuto dall'Istituto è di circa 3.000 k€.

CODICE PROGETTO	TITOLO E ACRONIMO	FINANZIAMENTO PER L'INRiM (k€)
EMPIR 20FUN06	Memristive devices as quantum standard for nanometrology (MEMQuD)	425
EMPIR 20NRM03	Standardisation of measurements for DC electricity grids (DC grids)	100
EMPIR 20IND01	Metrology for the recycling of Technology Critical Elements to support Europe's circular economy agenda (MetroCycleEU)	144
EMPIR 20NRM05	Improved metrology for quantitative MRI (iMET-MRI)	100
EMPIR 20NET01	Support for a European Metrology Network for Clean Energy (Clean Energy)	62
EMPIR 20IND07	Traceable industrial 3D roughness and dimensional measurement using optical 3D microscopy and optical distance sensors (TracOptic)	140
EMPIR 20IND06	Metrology for trace water in ultra-pure process gases (PROMETH2O)	345
EMPIR 20IND13	Sustainable advanced flow meter calibration for the transport sector (SAFEST)	230
EMPIR 20IND10	Metrology for decarbonising the gas grid (Decarb)	185
EMPIR 20IND05	Quantum sensors for metrology based on single-atom-like device technology (QADeT)	410
EMPIR 20FUN02	Pushing boundaries of nano-dimensional metrology by light (POLight)	155
EMPIR 20FUN08	Next generation ultrastable lasers: reducing thermal noise limit and overcoming technical limitations with new materials and technologies (NEXTLASERS)	160
EMPIR 20NET02	Support for a European Metrology Network on Food Safety (Food-MetNet)	201
EMPIR 20FUN03	Two dimensional lattices of covalent- and metal-organic frameworks for the Quantum Hall resistance standard (COMET)	180
EMPIR 20FUN01	Two-species composite atomic clocks (TSCAC)	150
EMPIR 20FUN07	Microwave metrology for superconducting quantum circuits (SuperQuant)	205
EMPIR 20FUN05	Single- and entangled photon sources for quantum metrology (SEQUME)	Unfunded

I restanti 46 progetti EMPIR, avviati tra il 2018 e il 2020 e proseguiti nel 2021, sono stati selezionati all'interno delle calls 2017, 2018 e 2019. Per questi progetti (11 coordinati dall'INRiM) l'Istituto ha acquisito un finanziamento complessivo che ammonta a circa 7,4 M€. L'elenco completo è riportato nell'Appendice 2.

Una fetta più ridotta dell'impegno dei ricercatori dell'INRiM è quella rappresentata dai progetti con organizzazioni, agenzie e università internazionali. 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 7 indicati nella tabella 11, nel 2021 sono proseguiti i seguenti progetti, sviluppati in ambito spaziale:

- *Galileo Reference Center (GRC MS3)*, in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Francese (CNES - Centre Spatial de Toulouse);
- *Egnos-SPMS*, con l'obiettivo di contribuire alla validazione degli aspetti di timing di EGNOS (il sistema

europeo di completamento al GPS), in collaborazione con l'Agencia Europea per i Sistemi di Navigazione Satellitare (European GNSS Agency - GSA);

- *Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)*, che mira a sostituire accelerometri basati su sensori capacitivi con altri basati su interferometria laser, in collaborazione con l'European Space Agency (ESA).

L'INRiM ha intrecciato importanti collaborazioni con l'ESA (European Space Agency) e l'Agencia dell'Unione Europea per il programma spaziale (EUSPA, precedentemente conosciuta come European GNSS Agency – GSA), contribuendo, a partire dal 1998, alla definizione, sviluppo e sperimentazione degli aspetti di tempo del sistema di navigazione satellitare europeo Galileo. Negli ultimi 20 anni l'INRiM ha preso parte, come laboratorio di metrologia del tempo, a tutte le diverse fasi sperimentali del progetto Galileo, diventando uno dei laboratori di riferimento in Europa per le attività legate a Galileo e allo spazio.

Nel 2021, sono continuate le attività di validazione degli orologi di bordo e della disseminazione di UTC e GGTO (GPS to Galileo Time Offset) in collaborazione con Thales Alenia Space Italia, e la collaborazione con la società spagnola GMV nell'ambito della *Galileo Time and Geodetic Validation Facility (TGVF-X)* per la fase *Exploitation* di Galileo. Inoltre, a partire dal 2018 INRiM contribuisce al *Galileo Time Service Provider (TSP)* mediante l'invio di dati di confronto via satellite fra la scala di tempo italiana ed il tempo di Galileo; tali dati sono utilizzati per mantenere la scala di tempo di Galileo in accordo con il riferimento internazionale UTC, e per la validazione di tutti gli orologi di bordo e di terra, inclusi quelli presenti presso i Centri di Controllo di Galileo.

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

Il progetto *Galileo Reference Center (GRC MS4)*, avviato nel 2021 con l'Agencia Spaziale Francese (CNES - Centre Spatial de Toulouse) ed EUSPA, rappresenta la continuazione dei precedenti progetti gemelli.

Di particolare rilievo è anche il progetto *Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)*, che è proseguito nel 2021 e ha coinvolto la NATO, l'Organizzazione del Trattato dell'Atlantico del Nord per la collaborazione nel settore della difesa.

Si segnalano infine i due seguenti nuovi progetti internazionali, avviati e conclusi nel 2021:

- *ATOM*, finanziato dalla European Space Agency (ESA) per l'ammontare di 250 k€
- *TES*, finanziato dalla New York University in Abu Dhabi Corporation per 8 k€

La conclusione di buona parte dei Progetti Premiali e dei progetti della Regione Piemonte *PiQuET - Piemonte Quantum Enabling Technology (INFRA-P)* e *IMPreSA - Infrastruttura Metrologica per la Sicurezza Alimentare (INFRA-P)*, ha inciso considerevolmente, rispetto ai dati della Relazione Consuntiva 2020, sulla quota di finanziamento legata ai progetti nazionali indicata nella tabella iniziale.

Nell'ambito dei Premiali, nel 2021 sono proseguiti i due seguenti progetti:

- *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;

- *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.

Per quanto concerne l'ambito MUR, è proseguito il progetto PRIN 2017 *Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control (SustMetMat)*.

Nel 2021 ha invece preso l'avvio il nuovo progetto *Sviluppo di sistemi e tecnologie quantistiche per la sicurezza informatica in reti di comunicazione (QUANCOM)*, cofinanziato attraverso il Programma Operativo Nazionale (PON) - Ricerca e Innovazione 2014-2020. Soggetto capofila del progetto è il Consiglio Nazionale delle Ricerche. Il progetto vede la partecipazione di diversi Enti Pubblici di Ricerca ed Università (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Agenzia Spaziale Italiana ASI, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRiM, Università di Padova), di Exprivia spa come Grande Impresa, e di Memory Consult srl e Demetrix srl come PMI. Il budget complessivo di QUANCOM è pari a 9.225 k€: si tratta del primo, grande progetto nazionale sulla comunicazione quantistica, con un'azione coordinata per lo sviluppo e la sperimentazione di protezione incondizionata della rete IP mediante crittografia quantistica (Quantum Key Distribution, QKD). L'ammontare del finanziamento per l'INRiM è di circa 159 k€.

Sono proseguiti nel 2021 i seguenti progetti:

- *QualShell* (che ha come ente capofila il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria - C.R.E.A.), iniziato nel 2020 e finanziato dalla Regione Piemonte attraverso il Programma di sviluppo rurale (FEASR);
- *LENA*, attivato nell'ambito di un accordo di collaborazione scientifica con l'Università di Pavia;
- *MISE Contatori*, attivato nell'ambito di una collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE);
- *ViRaDEP*, finanziato da Fondazione CRT tramite bando competitivo.

La collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ha dato invece l'avvio, nel 2021, al progetto *Detector Array Readout with Traveling Wave Amplifiers (DART-WARS)*, finanziato dall' INFN. Il progetto vede coinvolte le sezioni INFN di Milano-Bicocca, Lecce, il gruppo collegato di Salerno, i Laboratori Nazionali di Frascati e il TIFPA di Trento. Tra i partner, l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, la Fondazione Bruno Kessler e il gruppo sudcoreano dell'IBS-CAPP. DART-WARS svilupperà amplificatori superconduttivi a larga banda, in grado di fornire un alto guadagno minimizzandone il rumore intrinseco, spingendosi fino al limite quantistico. La quota di finanziamento per l'INRiM è di 65 k€.

L'INRiM ha intrecciato relazioni consolidate anche con Fondazione CRT, l'ente filantropico torinese, nato nel 1991, che in trent'anni ha messo a disposizione del territorio 2 miliardi di euro, sostenendo oltre 40.000 progetti per l'arte, la ricerca, la formazione, il welfare, l'ambiente, l'innovazione.

Sono finanziati dalla Fondazione, a seguito della partecipazione dell'INRiM a bandi competitivi, due nuovi progetti avviati nel 2021:

- Visco3DCell (33 k€)
- FRATERNISE (40 k€)

I finanziamenti provenienti dai progetti commissionati dall'industria costituiscono una parte minima dei finanziamenti esterni dell'INRiM; tuttavia, la tabella riassuntiva evidenzia un aumento del numero di progetti industriali rispetto ai dati della scorsa Relazione Consuntiva.

Nel 2021 sono proseguite le attività relative ai seguenti progetti:

- *Modelli di architettura e di gestione del sistema e delle reti elettriche e della regolazione che favoriscano l'integrazione di generazione rinnovabile e non programmabile, autoproduzione, accumuli, comunità dell'energia e aggregatori*, commissionato da RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE SpA;
- *“Tecnologie, architetture e standard per Fiber Optic Quantum Communications” (FIBEROPTIC)*, commissionato da Leonardo SpA;
- *Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)* commissionato da OpenFiber Spa;
- *GNSS Smart Traceability and Anti-spoofing (GALIST)*, commissionato dall'azienda ORIGOSAT.
- ASTRA, commissionato da EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.;
- ORION, commissionato da EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.
- *Concessione di una licenza di sfruttamento del know-how nel settore delle misure di durezza per le scale rockwell, brinell, vickers e marten*, commissionato da LTF S.p.A.;
- *Attività validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)*, finanziato da IAM Srl.
- *Time Service Provider (TSP GSOp)*, finanziato da GNSS tramite Spaceopal;

Sono invece stati avviati 19 nuovi progetti con interlocutori industriali, per un finanziamento complessivo di circa 1.800 k€.

La tabella di seguito riporta l'elenco dei progetti, delle aziende committenti e l'importo dei singoli finanziamenti.

TITOLO PROGETTO	COMMITTENTE	FINANZIAMENTO PER L'INRiM (k€)
Tetra-Pak	TETRA PAK	30
SNAM-AE4	SNAM RETE GAS S.P.A.	47
Irving80	IRVING 80 S.R.L.	8
ARO	ARO S.R.L.	4
510HK	ORICAS Import and Export (Beijing) Corporation	21
Reaction Wheel	EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	30
Eicas 3 Atherel	EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	25,5
SNAM-AE1	SNAM RETE GAS S.P.A.	35
Test Service	ORICAS Import and Export (Beijing) Corporation	38
GTT	GRUPPO TORINESE TRASPORTI SPA	18
RbPOP	LEONARDO S.P.A.	500
EuroQCI	Airbus Defence and Space SAS	435
Prospect	KAYSER ITALIA SRL	200
Clockensemble	THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A.	145
UTC	THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A.	100
Vir Halservice	HAL SERVICE SRL	70
SELTA	SELTA SpA	6
CCN3-STI	Space Tech GmbH	99
GIANO	Thales Alenia Space Italia SpA	20

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

13 – LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE

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

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

L'attività di Terza Missione può essere suddivisa in:

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

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

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

Intimamente collegato con lo UTT è il progetto RilTeM (*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 hanno permesso 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 RilTeM si fondono e si rendono spesso indistinguibili: il compito di RilTeM è proprio di rilanciare l'attività di terza missione mediante lo UTT.

La creazione e sfruttamento della proprietà intellettuale è al centro delle attenzioni di tutti i valutatori della ricerca, soprattutto di quella con ricaduta tecnologica. Le statistiche indicano che il numero di brevetti depositati dall'Italia, pur sostenuto (3 % del totale mondiale), non è al pari con quello di altre nazioni europee, Germania in testa (15 %) ¹³. Il portafoglio IPR dell'INRiM consiste a fine 2021 di 16 famiglie brevettuali attive (comprese quelle in corso di deposito) 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

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

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

Obbiettivi

- Disporre d'informazioni centralizzate e puntuali su tutte le famiglie brevettuali e sugli altri strumenti di privativa.
- Diffondere fra i colleghi la conoscenza e familiarità con gli strumenti di privativa, perché ciascuno possa considerarli a ragion veduta.
- Aiutare gli inventori a comprendere le potenzialità di sfruttamento, e a valutarne insieme l'opportunità di deposito e d'eventuali internazionalizzazioni, formulando piani d'azione.
- Monitorare il portafoglio per rivalutare di anno in anno se e quali azioni siano necessarie, sia di promozione sia di rinnovo o abbandono.
- Nel lungo periodo, raggiungere la parità di bilancio fra costi di deposito e mantenimento e ricavi per royalties; per le dimensioni dell'INRiM, questo obiettivo è assai ambizioso e richiederà inversioni di tendenze su un periodo pluriennale.
- Sostenere i colleghi nel rapporto con imprese ed altri enti quanto a protezione della riservatezza delle informazioni, necessarie per la preparazione e la conduzione di progetti di ricerca, con particolare riferimento agli accordi di riservatezza (NDA) e contrattuali di progetto.

Attività

- S'è conclusa la raccolta sistematica di informazioni sui titoli in portafoglio.
- Si sono svolti incontri personali e collettivi con inventori di brevetti già in portafoglio o futuri, per discutere insieme delle opportunità e di azioni future.
- Si sono valutati a richiesta documenti legali, quali accordi di riservatezza o di deposito congiunto di brevetto.
- S'è assunta un'unità di personale nel ruolo di *Technology Transfer Manager* nell'alveo del progetto RiTeM, che ha potuto dare un impulso all'attività dello UTT.
- S'è partecipato a vari eventi di formazione specifica, in particolare la scuola estiva organizzata dalla rete NETVAL.
- È stata predisposta l'attività di registrazione sistematica del portafoglio brevetti nella piattaforma *KnowledgeShare*, con incontri collettivi di presentazione agli inventori.
- Si è impostata la struttura concettuale di un database strutturato per la registrazione e gestione del portafoglio brevetti.

Risultati

- Gestione, in collaborazione con gli inventori, di 2 nuovi brevetti italiani depositati, 3 estensioni europee, 1 estensione internazionale (PCT), 3 nazionalizzazioni, 7 rinnovi (nazionali ed internazionali).
- Concessione di 1 brevetto italiano, 1 europeo.
- Gestione di 10 accordi di riservatezza.
- Gestione di una chiamata pubblica ad espressione d'interesse, e relativa selezione, per la cessione di un brevetto; s'è trattato del primo caso in assoluto in INRiM.
- Numerosi colloqui con inventori per inquadramento e indirizzamento, spesso informali al telefono.

- Strutturazione normalizzata dell'area dati condivisa fra i membri dello UTT contenente tutto il materiale tecnico e amministrativo relativo a brevetti, NDA, contratti, ecc.
- Progetto di massima di un database strutturato per la registrazione e gestione del portafoglio di brevetti INRiM.
- Assunzione in servizio di un tecnologo nel ruolo di *Technology Transfer Manager*; questa ha potuto aver luogo solo a metà luglio, e l'effettiva operatività in corso d'anno ne è risultata dimezzata.
- Familiarizzazione con la piattaforma *KnowledgeShare*, compresa la registrazione ed ottenimento delle credenziali, l'esplorazione dello strumento software, materiale e istruzioni per la compilazione.
- Tre incontri di formazione specifica ai colleghi inventori sulle modalità di compilazione delle schede sulla piattaforma *KnowledgeShare* e primi materiali raccolti dagli inventori per la registrazione; stesura della liberatoria INRiM per autorizzare i gestori della piattaforma KS ad amministrare le schede dell'INRiM e relativo inserimento della voce "INRiM" sulla piattaforma.
- Programmazione di tre eventi di formazione per le aziende, con una parte comune introduttiva e tre separate per aree scientifiche, individuate nelle tre Divisioni dell'INRiM. L'effettiva realizzazione degli eventi è però stata rimandata al 2022 per somma d'impegni in chiusura d'anno dei funzionari e dirigenti INRiM che sarebbero dovuti intervenire.
- Elenco delle aziende (PMI e non) potenzialmente interessate al TT INRiM.
- Partecipazione alla scuola estiva Netval "*La rinascita del Trasferimento Tecnologico: cosa ha funzionato e cosa può funzionare meglio nel futuro*" e a 3 seminari/workshop di formazione specifica.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nella seguente tabella sono riportate le attività svolte per i 228 Laboratori di taratura accreditati fino al 31-12-2021, in cui sono stati coinvolti gli Ispettori Tecnici e di Sistema dell'INRiM.

Tabella 12 – Attività supporto all'accREDITAMENTO laboratori 2021

Attività	N.
Nuovi accreditamenti	11
Estensioni + Riduzioni	52+5
Rinnovi	56
Sorveglianze	30
Accertamenti sperimentali	9

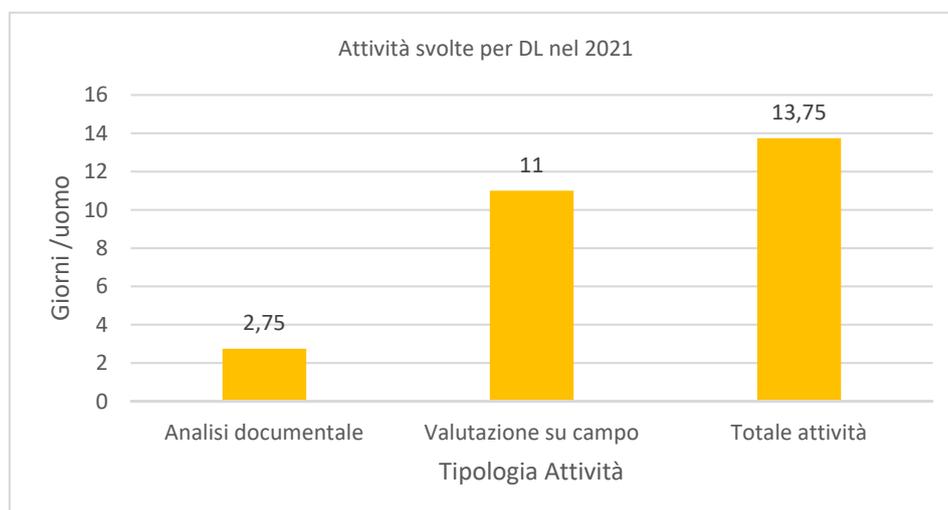
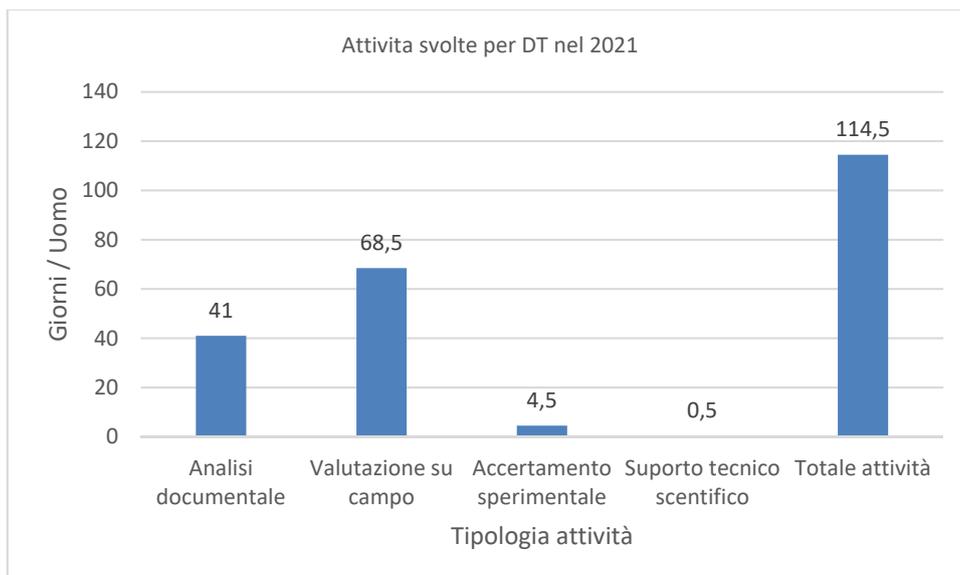
Nel corso del 2021 sono stati coinvolti nelle attività previste dalla convenzione INRiM - ACCREDIA 14 dipendenti INRiM, tra cui:

- n. 13 Ispettori per ACCREDIA – DT (dipartimento taratura)
- n. 1 Ispettore per ACCREDIA - DL (dipartimento prova)

Per il dipartimento di taratura sono state impiegate in totale n.114,5 giornate uomo per un fatturato al netto di IVA circa 53.716,43 €.

Per il dipartimento di prova di ACCREDIA sono state impiegate in totale 13,75 giornate uomo per un fatturato al netto di IVA circa 7.031,39 €.

I dettagli delle tipologie delle attività svolte dagli Ispettori sono riportati nei seguenti grafici.



Nella tabella successiva sono presentati i dettagli delle attività svolte nel 2021 dagli Ispettori INRiM secondo la Divisione di appartenenza.

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

AE - Metrologia applicata e Ingegneria

Area Attività	Qualifica	Tipologia attività (giorni uomo)
Lunghezza	n. 3 Ispettori Tecnici per ACCREDIA DT	Valutazioni su campo (7) Analisi Documentale (3,5) Accertamento sperimentale (0,5)
Sistema Qualità e Massa	n. 1 Ispettore di Sistema e Tecnico per ACCREDIA DT	Analisi documentale (1) Valutazioni su campo (6,5)
Massa e Grandezze derivate	n. 1 Ispettore Tecnico per ACCREDIA DT	Analisi documentale (2,5) Valutazioni su campo (9,5) Accertamenti sperimentali (1)
Portate	n. 2 Ispettori Tecnici per ACCREDIA DT	Analisi documentale (3,5) Valutazioni su campo (6,5)
Accelerometria, Forza	n. 1 Ispettore Tecnico per ACCREDIA DT	Analisi documentale (4) Valutazioni su campo (5)

		Accertamenti sperimentali (0,5)
Temperatura	n. 2 Ispettori Tecnici per ACCREDIA DT	Analisi documentale (9,5) Valutazioni su campo (11) Accertamenti sperimentali (0,5) Supporto tecnico scientifico (0,5)
Temperatura + Umidità	n. 1 Ispettore Tecnico per ACCREDIA DT	Analisi documentale (14) Valutazioni su campo (18) Accertamenti sperimentali (1,5)
Metrologia Elettrica	n. 1 Ispettore Tecnico per ACCREDIA DL	Analisi documentale (2,75) Valutazioni su campo (11)

ML - Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

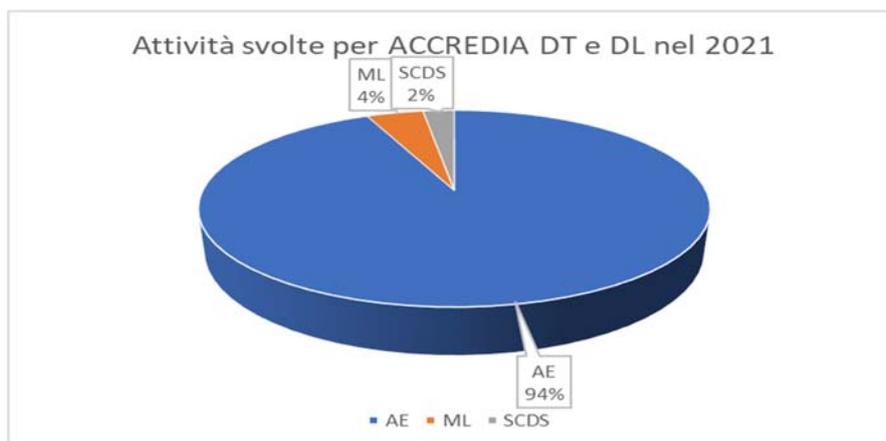
Area attività	Qualifica	Tipologia attività (giorni uomo)
Lunghezza + Biologia	n. 1 Ispettore Tecnico	Analisi documentale (3) Valutazioni su campo (2) Accertamento sperimentale (0,5)

SCDS - Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica

Area	Qualifica	Tipologia attività (giorni uomo)
Sistema Qualità	n. 1 Ispettore di Sistema	Valutazioni su campo (3)

Le strutture dell'INRiM coinvolte nelle attività svolte sotto la convenzione INRiM-ACCREDIA sono le seguenti:

- AE - Metrologia applicata e Ingegneria con 119,75 g/u, circa 94 % del volume attività.
- ML - Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita con 5,5 g/u, circa 4 % del volume attività.
- SCDS – Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica con 3 g/u, circa 2 % del volume attività.



13.3 - ATTIVITÀ DI VALORIZZAZIONE ECONOMICA: I RAPPORTI DI PROVA

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

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

Nel 2021 sono stati emessi 48 tra rapporti di prova, test report LOVAG ACAE e relazioni.

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

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

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

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

L'INRiM nel 2021 ha organizzato e preso parte alle iniziative descritte qui di seguito.

Diffusione della cultura scientifica/metrologica

Organizzazione della visita ai laboratori INRiM di una **delegazione di studenti proveniente da alcune università olandesi**. A causa del perdurare dell'emergenza sanitaria globale dovuta al Covid-19, le consuete visite ai laboratori INRiM da parte di studenti e docenti di scuole e università e di associazioni e privati cittadini sono state sospese.

Ideazione e organizzazione dell'evento on-line "Giornata Mondiale della Metrologia - Anteprema per le scuole e l'università", in collaborazione con l'Associazione CentroScienza Onlus, per l'adesione dell'INRiM alla campagna internazionale di divulgazione scientifica promossa dal Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) per il World Metrology Day (20 maggio):

- realizzazione di tre trasmissioni in diretta streaming sul canale YouTube "SI misura" (rispettivamente per studenti di scuole primarie, scuole secondarie e università), con interviste a ricercatori INRiM nei loro laboratori;
- ideazione della grafica e dell'immagine coordinata dell'evento e realizzazione di testi e immagini di promozione per il sito e i canali social dell'INRiM.

Produzione della trasmissione web “Cocktail di Scienza - Il stagione”, composta da dieci puntate in diretta streaming sul canale YouTube “SI misura”, per l’adesione dell’INRiM alle Settimane della Scienza, promosse dall’Associazione CentroScienza Onlus:

- progettazione dell’iniziativa, coinvolgendo 10 ricercatori e tecnologi, nel ruolo di intervistati e intervistatori, e una ditta esterna per le riprese e la trasmissione in diretta su YouTube;
- ideazione della grafica e dell’immagine coordinata dell’iniziativa e realizzazione di testi e immagini di promozione per il sito e i canali social dell’INRiM.

Ideazione e organizzazione delle attività con cui l’INRiM ha partecipato alla Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori:

- pubblicazione di tre webinar, tratti dalla rassegna Cocktail di Scienza del 2020, sul sito web dell’INRiM e sul canale YouTube “SI misura” per “Aspettando la Notte”, il programma di avvicinamento alla Notte dei Ricercatori;
- definizione del programma scientifico per la partecipazione dell’INRiM alla Notte dei Ricercatori;
- cura grafica dell’evento e redazione di testi promozionali da pubblicare sul sito web e sui canali social dell’INRiM, in collaborazione con l’UO Comunicazione, e sui vari canali di comunicazione gestiti dall’Università e dal Politecnico di Torino.

Organizzazione della Giornata di presentazione del Dottorato in Metrologia (evento on-line trasmesso su piattaforma Zoom), in collaborazione con l’UO Sistemi Informatici e Reti; promozione dell’iniziativa sul sito web e sui canali social dell’INRiM, in collaborazione con l’UO Comunicazione, mediante testi e immagini.

Promozione del premio di laurea INRiM per tesi di laurea magistrale sul sito web e sui canali social dell’INRiM mediante la predisposizione di grafiche e testi.

Presentazione dell’Istituto con proiezione di un breve video nel corso delle videoconferenze sul nuovo Sistema Internazionale di unità di misura tenute dall’INRiM nell’ambito della Scuola per docenti organizzata, in modalità on-line, dal Gruppo di Storia della Fisica dell’Associazione per l’Insegnamento della Fisica (AIF).

Collaborazione con il ricercatore Enrico Massa allo svolgimento di una “lezione a distanza” di carattere sperimentale sulla metrologia per una classe terza primaria di Arcevia (AN).

Prosecuzione del progetto di divulgazione scientifica “A scuola di metrologia”, serie di film-documentari rivolti agli studenti delle scuole superiori di secondo grado in collaborazione con alcuni colleghi ricercatori (riunioni on-line, definizione del progetto, stesura della sceneggiatura della prima puntata, contatti con i curatori del Muso Egizio di Torino).

Partecipazione alle riunioni per la costituzione dell’Associazione APENet, Rete italiana degli Atenei ed Enti di Ricerca, creata con l’obiettivo principale di diffondere, promuovere e valorizzare in modo coordinato la cultura e le esperienze di Public Engagement.

In collaborazione con colleghi ricercatori, stesura di un articolo per la rivista Tec’è, rivolta al mondo manifatturiero, e di un articolo di divulgazione scientifica per la rubrica “Fisica in erba” del Nuovo Saggiatore, rivista della Società Italiana di Fisica.

Realizzazione di presentazioni dell’INRiM per il Direttore Scientifico.

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

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

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

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

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

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

- World Metrology Day;
- Settimane della Scienza;
- Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori
- Scuola per docenti organizzata dal Gruppo di Storia della Fisica dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF).

Promozione dell'Istituto attraverso il premio di laurea INRiM per tesi magistrali.

Promozione del Corso di Dottorato in Metrologia.

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

Realizzazione di 13 video di divulgazione scientifica:

- 10 filmati risultanti dalla registrazione delle dieci puntate della trasmissione web "Cocktail di Scienza";
- 3 filmati risultanti dalla registrazione degli eventi on-line realizzati per la Giornata Mondiale della Metrologia.

Incremento dei *follower* dei profili social dell'INRiM grazie alle centinaia di visualizzazioni ottenute dai video sopra citati e dai post pubblicati nel corso dell'anno.

Nell'ambito della comunicazione (gestita dalla UO Comunicazione), gli obiettivi strategici di riferimento sono la promozione dell'ente, la comunicazione e promozione della ricerca scientifica e delle attività di terza missione.

Le funzioni affidate alla UO Comunicazione sono:

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

Gli strumenti attraverso i quali l'INRiM realizza la comunicazione delle attività di ricerca (e non solo) sono i seguenti:

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

- *LinkedIn*: canale orientato al mondo del lavoro;
- *Instagram*: canale orientato al mondo degli under 40 che permette di coinvolgere i dottorandi, gli assegnisti, gli studenti che lavorano in INRiM o che vorrebbero avvicinarsi.
- *Spotify*: canale musicale nato con lo scopo di coinvolgere i dipendenti e creare un senso di appartenenza.
- ***Intranet***. L'Intranet è lo spazio web accessibile da rete interna destinato al personale INRiM. I contenuti sono principalmente di carattere informativo e organizzativo, utili ad agevolare il lavoro dei dipendenti e la condivisione di contenuti. Si segnala in particolare la sezione Science books, con tre blog dedicati alle divisioni di ricerca, creata al fine di condividere contenuti di carattere specialistico;
- ***Newsletter***. La NewsLetter, inviata via email ad all il pomeriggio di ogni venerdì, è stata introdotta il 1 Gennaio 2021 allo scopo di aumentare la veicolazione delle 'informazione verso i dipendenti dell'istituto e creare l'abitudine all'utilizzo della intranet che del portale portale, attraverso il link diretto delle notizie.

Nel 2021 sono state realizzate le seguenti attività:

- ***Progetto di realizzazione del nuovo portale,***
Su mandato della governance è stato creato in collaborazione con il consorzio interuniversitario CINECA un progetto per la realizzazione del nuovo Portale dell'Ente. Il progetto si è sviluppato principalmente su tre fasi:
 - realizzazione della wireframe e grafica approvato dalla Governance;
 - realizzazione dei contenuti affidata alla UO Comunicazione e al Comitato di redazione;
 - caricamento dei contenuti affidato alla UO Comunicazione, al Comitato di redazione e ai Responsabili di UO.
- ***Diffusione dell'immagine coordinata,***
 - sono stati realizzati fac simile di template, documenti e modulistica.
- ***Comunicazione di eventi, organizzati o che coinvolgono l'Istituto, attraverso gli strumenti sopra descritti:***
 - Congressi
 - Seminari o Progetti
 - Workshop
 - Meeting
 - Eventi a carattere nazionale e internazionale
- ***Presidio della Media Communications;***
- ***Realizzazione e diffusione di comunicati stampa;***
- ***Realizzazione di campagne di comunicazione;***
- ***Pubblicazioni.***

Campagne di comunicazione

Nel 2021 sono state portate avanti Campagne di Comunicazione, di seguito suddivise per categoria.

- EVENTI -

- **Campagna Ciclo di Seminari INRiM**, realizzata per comunicare il Ciclo di Seminari INRiM, ideati dalla Direzione Scientifica allo scopo di rafforzare l'integrazione della comunità scientifica con seminari aperti, tenuti da ricercatori INRiM e invited speakers esterni.
- **Campagna per World Metrology Day 2021**, realizzata in occasione della giornata mondiale della metrologia 2021 per:
 - presentare la ricerca svolta nell'Ente sulla metrologia per la salute
 - intessere e rafforzare i rapporti con gli stakeholder
 - promuovere l'immagine dell'Ente
 - pianificare e coordinare l'organizzazione degli eventi del 20 maggio 2021
 - comunicare gli eventi organizzati da INRiM (Conferenza, Workshop e Diretta Social).

- INFRASTRUTTURE DI RICERCA -

- **Campagna IMPreSA**, realizzata per il progetto IMPreSa che ha portato alla costruzione dell'omonima infrastruttura. Gli obiettivi della campagna sono:
 - promuovere la nuova infrastruttura, aperta a partner accademici e industriali, sulle specifiche tecnologiche dei laboratori realizzati e sulle caratteristiche della strumentazione messa a sistema;
 - creare/aumentare l'engagement dei diversi target individuati successivamente con lo scopo di instaurare e rafforzare rapporti di collaborazione e crescita mettendo la nuova infrastruttura al centro.
- **Campagna PiQuET**, creata per il progetto PIQuET che ha portato alla costruzione dell'omonima infrastruttura. Gli obiettivi della campagna sono:
 - informare sulla nascita di una nuova infrastruttura, aperta a partner accademici e industriali, sulle specifiche tecnologiche dei laboratori realizzati e sulle caratteristiche della strumentazione messa a sistema;
 - creare/aumentare l'engagement dei diversi target individuati successivamente con lo scopo di instaurare e rafforzare rapporti di collaborazione e crescita mettendo la nuova infrastruttura al centro.

- PROGETTI DI RICERCA -

- **Campagna INRiM con Telsy**, realizzata insieme all'azienda del gruppo TIM, Telsy, in occasione della creazione del Trusted Node (in collaborazione con la Divisione QN). Gli obiettivi della campagna sono:
 - informare sul lavoro di ricerca scientifica e tecnologica che ha portato alla realizzazione del Trusted Node;
 - ingaggiare i diversi target per mostrare le potenzialità del Trusted Node e iniziare collaborazioni scientifiche per sfruttare al meglio le capacità di questo nuovo strumento.

- **Campagna MEMQuD**, realizzata per il progetto di ricerca MEMQuD con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca MEMQuD;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.
- **Campagna PROMETH₂O**, realizzata per il progetto di ricerca PROMETH₂O con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca PROMETH₂O;
 - informare riguardo al meeting di avvio che si terrà il 14 giugno 2021;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.
- **Campagna NANOWIRES**, realizzata per il progetto di ricerca NANOWIRES con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca NANOWIRES;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.
- **Campagna GIQS**, realizzata per il progetto di ricerca GIQS con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca GIQS;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.
- **Campagna ParaWave**, realizzata per il progetto di ricerca ParaWave con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca ParaWave;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.
- **Campagna RaCHy**, realizzata per il progetto di ricerca RaCHy con l'obiettivo di:
 - dare visibilità e far conoscere il progetto di ricerca RaCHy;
 - seguire il progetto durante la sua intera vita.

- COMUNICAZIONE INTERNA E ISTITUZIONALE -

- **Campagna La Ricerca è - MUR**, realizzata in seguito all'adesione all'omonimo progetto del Ministero dell'Università e della Ricerca¹, gli obiettivi che si pone la campagna sono i:
 - creare senso di appartenenza interno all'Ente e tra Enti;
 - sensibilizzare la cittadinanza sui temi della ricerca scientifica mostrando loro come la ricerca impatta nella vita quotidiana di ognuno di noi.
- **Campagna INRiM c'è 2021**, realizzata con l'intento di racchiudere tutte le iniziative dell'Ente aventi in comune questo slogan. L'obiettivo della campagna è quello di dare maggiore visibilità all'Ente, promuovere la Vision, mostrare il volto istituzionale accanto a quello scientifico. Oltre che, dare l'immagine di un Ente moderno attento alle persone, al contesto, ai temi dell'ambiente.
- **Campagna per CUG**, realizzata in occasione dell'evento "Percorsi di CUG". Un workshop online organizzato dal CUG INRiM, aperto al personale di Enti Pubblici di Ricerca e Atenei, per presentare il ruolo dei CUG nelle organizzazioni, raccogliendo esperienze e testimonianze. La Campagna ha come obiettivo:
 - garantire maggiori informazioni sull'evento che il CUG dell'Ente propone;
 - raggiungere il maggior numero di persone sia di INRiM che degli EPR e atenei partecipanti all'evento;
 - pubblicizzare l'esistenza del neo costituito organismo e specificarne gli ambiti di azione.

- attrarre il personale INRiM, così da formare tutti i membri della comunità sul ruolo del CUG volto ad assicurare la conciliazione tra vita lavorativa e personale, la prevenzione di ogni forma di discriminazione e la rimozione degli ostacoli alla piena ed effettiva parità di opportunità per tutti i membri della comunità INRiM
- **Campagna PhD in Metrologia**, realizzata per promuovere il Dottorato di Ricerca in Metrologia, bandito dal Politecnico di Torino in collaborazione con INRiM. Ha come obiettivo:
 - garantire maggiori informazioni sul corso di dottorato che l'Ente propone;
 - raggiungere un maggior numero di persone;
 - attrarre gli studenti magistrali verso il corso di dottorato proposto da INRiM, così da coprire il numero totale di borse di studio proposte;
 - pubblicizzare la ricerca scientifica svolta nell'Ente, in modo tale da promuovere l'Ente e attirare l'interesse degli studenti.

le azioni di comunicazione della campagna sono state avviate dalla UO COM mentre i contenuti sono creati dal Team di Diffusione della Cultura Metrologica.

Pubblicazioni

L'attività di promozione dell'Ente ha portato alla pubblicazione di:

- una grafica a piena pagina su *Tecn'è*, una rivista cartacea mensile rivolta al mondo manifatturiero e all'industria meccanica, all'interno dello speciale Metrologia del numero di gennaio/febbraio 2021, per pubblicizzare i servizi che INRiM rivolge alle imprese;
- una grafica a piena pagina sul quotidiano *La Repubblica Torino*, uscita del 16 maggio 2021, per pubblicizzare gli eventi organizzate dall'Ente in occasione del World Metrology Day 2021.

Le attività di Public Engagement dell'INRiM svolte nel 2021 sono descritte più in dettaglio nel documento Risultati e dati 2021 (sezione Knowledge Transfer).

13.5 - L' ALTA FORMAZIONE E LA FORMAZIONE PERMANENTE

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

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

Alta formazione

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

Nel corso del 2021, 38 tra ricercatori e tecnologi dell'Istituto si sono dedicati ad attività di docenza all'interno

di corsi di laurea, master e dottorati di ricerca.

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

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

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate all'Alta Formazione per l'anno 2021.

Tabella 13 – Attività di Alta Formazione svolte nel 2021

Corsi di didattica universitaria (corsi di laurea, master e dottorati di ricerca) erogati	52
Ore di didattica universitaria complessivamente erogate	930
Ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti	38
Corsi di dottorato in convenzione	1
Studenti di dottorato attivi nell'anno	37
Supporto a studenti per tesi di laurea magistrale (II livello)	20
Tesi di II livello	16 concluse nel 2021 4 in corso
Tirocini curriculari /tesi per laurea triennale	34
Tesi di I livello	11 concluse nel 2021

Formazione Permanente

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

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

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

Nel corso del 2021 sono stati attivati corsi per il personale dei seguenti organismi:

The European Magnetism Association
EURAC Research - IMS
School on nanotechnologies: processes and applications to sensors and actuators
ANGQ - ACCREDIA
Diagon Alley srl

AIF Associazione per l'Insegnamento della Fisica
World Meteorological Organization
UNI
ALPI - ASSOCIAZIONE LABORATORI E ORGANISMI DI CERTIFICAZIONE E ISPEZIONE
Centri accreditati LAT, MISE, Organismi nazionali di certificazione, studenti universitari, dottorandi

Nella tabella a seguire sono riportati i dettagli delle attività legate alla Formazione Permanente per l'anno 2021.

Tabella 14 – Attività di Formazione Permanente svolte nel 2021

Corsi erogati	13
Ore di didattica erogate	102
Ricercatori e tecnologi coinvolti	12
Organizzazioni esterne che hanno fruito delle competenze dell'INRiM	11

PARTE 2 – Schede di attività

1 – LA DIREZIONE SCIENTIFICA

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

Direttore Scientifico: Pietro Asinari

Personale impegnato (mesi/persona)

<i>Personale</i>	<i>Mesi/persona</i>
Pietro Asinari	11
Paola Tiberto	2,2
Michela Segà	2,2
Davide Calonico	2,2

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

La composizione del Consiglio di Direzione, modificata a inizio del 2021 a seguito di nuove elezioni per la scelta del membro eletto, è la seguente:

- Pietro Asinari (Direttore Scientifico)
- Paola Tiberto (Resp. di Divisione)
- Michela Segà (Resp. di Divisione)
- Davide Calonico (Resp. di Divisione)
- Vittorio Basso (membro eletto) – fino al 14/02/2021
- Marco Coisson (membro eletto) –dal 15/02/2021
- Ivo Pietro Degiovanni (membro eletto)
- Claudio Origlia (membro eletto)
- Marco Pisani (membro eletto)

Nel 2021 il Consiglio di Direzione ha tenuto 12 riunioni.

CAMPI DI ATTIVITÀ

Le Divisioni in cui si è strutturata la Direzione Scientifica nel 2021 sono:

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

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

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

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

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

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

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

Si articola nei seguenti Settori Scientifici Omogenei (SSO):

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

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

Il Settore interdivisionale coordinamento e divulgazione scientifica ha svolto le seguenti attività:

- diffusione della cultura scientifica/metrologica (attività di Public Engagement e di Formazione Continua o Permanente);
- organizzazione/gestione dei tirocini curricolari, extracurricolari, di orientamento e dei PCTO;
- diffusione della cultura della qualità in applicazione dei requisiti necessari per la partecipazione all'accordo CIPM-MRA (tra cui l'esecuzione di peer review) e come strumento di gestione;
- gestione delle pubblicazioni scientifiche e dei prodotti dell'Ente – gestione dei database - Valutazione della Qualità della Ricerca e Valutazione delle Attività di Terza Missione (VQR);
- gestione dei certificati di taratura, dei rapporti di prova e delle relazioni ILC, in applicazione delle indicazioni della procedura QG04 del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) dell'INRiM relativamente alla loro emissione dopo la preparazione/redazione da parte delle Divisioni;

- preparazione della documentazione scientifica istituzionale prevista dallo Statuto dell'INRiM;
- supporto al DS nelle riunioni del Consiglio di Direzione;
- supporto nella gestione di pratiche riguardanti il personale scientifico.

La presentazione dei risultati nelle schede di Divisione riportate di seguito si riferisce ai Programmi definiti nel Piano Triennale 2021-2023.

1.2 – IL SETTORE INTERDIVISIONALE COORDINAMENTO E DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

Responsabile: Pietro Asinari

Personale impegnato (mesi/persona)

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

Attività e risultati conseguiti

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

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

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

A causa della perdurante situazione di emergenza sanitaria globale dovuta al Covid-19, nel 2021 quasi tutte le visite ai laboratori INRiM sono state sospese e rinviate a data da definirsi. A novembre il personale del settore ha collaborato con il Direttore Scientifico all'organizzazione della visita ai laboratori di una **delegazione di studenti proveniente da alcune università olandesi**, che è stata accolta in via eccezionale.

In occasione del **World Metrology Day** (20 maggio), il Settore ha ideato e realizzato un evento on-line dedicato alle scuole e all'università, in collaborazione con l'Associazione CentroScienza. L'iniziativa, tenutasi il 19 maggio e denominata "Giornata Mondiale della Metrologia - Anteprema per le scuole e l'università", è stata costituita da tre trasmissioni in diretta streaming sul canale YouTube "SI misura", ciascuna rivolta a una specifica fascia di pubblico: gli studenti delle scuole primarie e secondarie di primo grado (età 6-14 anni), quelli delle secondarie di secondo grado (età 14-19 anni) e gli studenti universitari. L'iniziativa ha coinvolto due ricercatori, due tecnici di laboratorio e dieci assegnisti di ricerca o dottorandi. Le riprese e la trasmissione in diretta streaming sono state affidate a una ditta esterna. Il Settore ha curato la grafica dell'evento e ha collaborato con l'UO Comunicazione alla promozione dell'iniziativa sul sito web e sui canali social dell'INRiM attraverso la realizzazione di testi e immagini.

L'INRiM ha aderito alle **Settimane della Scienza**, iniziativa promossa da CentroScienza, producendo una trasmissione web costituita da 10 episodi andati in onda sul canale YouTube "SI misura". La trasmissione, intitolata "**Cocktail di scienza - Il stagione**" per riprendere un'iniziativa simile dell'anno precedente, ha riscosso centinaia di visualizzazioni on-line. Il progetto ha coinvolto dieci ricercatori e tecnologi, in veste di intervistati o di intervistatori, e ha offerto una vasta panoramica delle attività INRiM, rivolgendosi in particolare a un pubblico di adolescenti e giovani (corrispondenti agli studenti delle scuole superiori di secondo grado e

delle università). Le riprese e la trasmissione in diretta streaming sono state affidate a una ditta esterna. La produzione delle varie puntate ha incluso la realizzazione di una grafica e di un'immagine coordinata da parte del personale del Settore, che ha inoltre collaborato con l'UO Comunicazione alla promozione dell'iniziativa sul sito web e sui canali social dell'INRiM.

Anche nel 2021 l'INRiM ha partecipato alla **Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori (24 settembre)**, organizzata a Torino dal Politecnico e dall'Università, e al relativo programma di avvicinamento denominato **"Aspettando la Notte"**. Per quest'ultimo il Settore ha creato un appuntamento settimanale sul sito web istituzionale e sul canale YouTube "SI misura" attraverso la progressiva pubblicazione, nei tre venerdì di settembre precedenti la data della Notte, di tre webinar tratti dalla rassegna "Cocktail di Scienza" del 2020. La partecipazione dell'INRiM alla Notte del 24 settembre è stata organizzata in collaborazione con l'UO Servizi Tecnici, responsabile della logistica. Il personale del Settore ha curato in particolare il programma scientifico dell'evento, che si è svolto presso la sede storica INRiM di corso Massimo d'Azeglio 42. Nella Biblioteca storica si sono tenuti i caffè scientifici del "Gran Caffè delle Misure" e nell'area antistante la scalinata della sede sono stati allestiti gli stand degli "Esperimenti su misura". È stato inoltre aperto alle visite il laboratorio "Alte Tensioni e Forti Correnti". Il programma scientifico ha visto la partecipazione di circa 25 ricercatori e tecnologi. Il personale del Settore si è inoltre occupato della grafica dell'evento e della redazione di testi promozionali da pubblicare sul sito web e sui canali social dell'INRiM, in collaborazione con l'UO Comunicazione, e sui vari canali di comunicazione gestiti dall'Università e dal Politecnico di Torino.

Nel corso del 2021 il personale del Settore ha inoltre svolto le seguenti attività:

- organizzazione della Giornata di presentazione del Dottorato in Metrologia (evento on-line trasmesso su piattaforma Zoom), in collaborazione con l'UO Sistemi Informatici e Reti; promozione dell'iniziativa sul sito web e sui canali social dell'INRiM, in collaborazione con l'UO Comunicazione, mediante la realizzazione di testi e immagini;
- promozione del premio di laurea INRiM per tesi di laurea magistrale sul sito web e sui canali social dell'Istituto mediante la predisposizione di grafiche e testi;
- presentazione dell'Istituto con proiezione di un breve video nel corso delle videoconferenze sul nuovo Sistema Internazionale di unità di misura tenute dall'INRiM nell'ambito della Scuola per docenti organizzata, in modalità on-line, dal Gruppo di Storia della Fisica dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF);
- collaborazione con il ricercatore Enrico Massa allo svolgimento di una "lezione a distanza" di carattere sperimentale sulla metrologia per una classe terza primaria di Arcevia (AN);
- prosecuzione del progetto di divulgazione scientifica "A scuola di metrologia", serie di film-documentari rivolti agli studenti delle scuole superiori di secondo grado in collaborazione con alcuni colleghi ricercatori (riunioni on-line, definizione del progetto, stesura della sceneggiatura della prima puntata);
- partecipazione alle riunioni per la costituzione dell'Associazione APEnet, Rete italiana degli Atenei ed Enti di Ricerca, creata con l'obiettivo principale di diffondere, promuovere e valorizzare la cultura e le esperienze di Public Engagement;
- in collaborazione con colleghi ricercatori, stesura di un articolo per la rivista Tecn'è, rivolta al mondo manifatturiero, e di un articolo di divulgazione scientifica per la rubrica "Fisica in erba" del Nuovo Saggiatore, rivista della Società Italiana di Fisica;
- realizzazione di presentazioni dell'INRiM per il Direttore Scientifico.

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

Poiché il 2021 è stato ancora un anno molto difficile per la scuola e per il mondo del lavoro, non è stato possibile attivare per gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado i Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (PCTO), ex-alternanza scuola lavoro.

A febbraio, nel corso dell'evento "Time for Job" organizzato dal Politecnico di Torino, in modalità on-line, per la presentazione agli studenti dei tirocini curricolari per la laurea triennale e le tesi magistrali, il personale del Settore, che gestisce il popolamento delle pagine INRiM sul portale Stage&Job del Politecnico, ha illustrato l'offerta di tirocini e tesi di laurea dell'Istituto. Questa stessa offerta, preparata rielaborando le proposte dei colleghi ricercatori e tecnologi, è stata pubblicizzata presso la facoltà di Fisica e di Scienza dei Materiali dell'Università di Torino (UniTO). È stata fornita assistenza agli studenti ed ai colleghi ricercatori nelle fasi di avvio dei tirocini e delle tesi, che si sono svolti in modalità mista (in parte in presenza e in parte da remoto), attraverso apposita procedura stilata per l'avvio dei tirocini al tempo del Covid. Particolare attenzione è stata

dedicata alla necessità e alla verifica della formazione per la sicurezza dei tirocinanti, seguendo le indicazioni del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione. Nell'impossibilità da parte dell'INRiM di erogare tutti i corsi necessari, ci si è rivolti al Servizio del Politecnico - che ha prestato una preziosa collaborazione - ed in parte anche a UniTO.

Si è inoltre fornita consulenza ai colleghi per l'inserimento in stage di tirocinanti/studenti o ospiti ricercatori provenienti da altri Paesi.

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

Nel 2021 il personale del Settore si è impegnato a diffondere la cultura metrologica e della qualità (in ottemperanza all'accordo CIPM-MRA) sia all'interno dell'Ente che all'esterno tramite seminari dedicati.

In particolare, nel Settore opera la persona di contatto nazionale presso il TC-Quality dell'EURAMET che ha rappresentato l'Italia alla riunione annuale del TC-Q, che si è tenuta in modalità remota dal 20 al 22 aprile 2021; il TC-Q Steering Committee ha effettuato in modalità remota la valutazione dei documenti di Annual Report e degli ultimi documenti GAAP (Gap Analysis and Action Plan per la transizione alla nuova edizione della norma ISO 17025) relativi agli istituti che non avevano ancora completato la transizione alla ISO/IEC 17025:2017.

Il Settore ha assistito il DS nell'organizzazione e nelle comunicazioni relative alla Peer review annuale (progetto EURAMET 1123 "On site peer review") sostenuta dall'Istituto in modalità remota a dicembre 2021, predisponendo la documentazione necessaria e mantenendo i contatti con i reviewers provenienti da Spagna e Portogallo, affinché potessero svolgere al meglio l'attività di revisione dei laboratori Lunghezza (Laser frequencies, Dimensional metrology), Massa (Mass standards, Density) Termometria (Temperature, Humidity) Elettromagnetismo (HVHC, RF Measurements, Chimica inorganica (Gases/Environmental).

Si inquadra nell'ottica della condivisione e scambio di esperienze relative alla cultura della qualità l'attività di Reviewer svolta del personale sempre all'interno del progetto Euramet 1123.

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

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

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

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

- METRICA (l'archivio istituzionale della produzione scientifica INRiM, che utilizza la piattaforma IRIS - Institutional Research Information System sviluppata da Cineca)
- il database "Rapporti Tecnici dell'INRiM" (creato nel 2019 dal personale dei Sistemi Informatici dell'Istituto) che raccoglie i Rapporti Tecnici interni.

Per quanto riguarda la gestione ordinaria dei prodotti inseriti in METRICA, nel 2021 si è provveduto a:

- effettuare la "pulizia" periodica del database allo scopo di eliminare i prodotti duplicati per errore o non correttamente inviati a loginmiur attraverso gli automatismi previsti dal software;

- supportare il personale nelle operazioni di inserimento, modifica e cancellazione dei prodotti;
- aggiornare i profili dell'utenza, in considerazione degli avvicendamenti legati a pensionamenti e nuove assunzioni;
- contattare il Customer Portal Cineca per la risoluzione di problemi di varia natura;
- partecipare a Webinar sull'utilizzo dell'Institutional Repository e sulle eventuali nuove implementazioni, e alle attività dei Focus Group Cineca (dedicati agli enti che usufruiscono di IRIS, allo scopo di condividere problematiche e proporre modifiche al database).

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

Il Settore ha gestito anche le esperienze professionali inserite dai ricercatori e tecnologi dell'INRiM all'interno di Loginmiur (il database attraverso cui il MUR rileva i dati dei ricercatori italiani - curriculum vitae, esperienze professionali e pubblicazioni - e li utilizza per partecipazione ai PRIN, Valutazione della Qualità della Ricerca, Abilitazione Scientifica Nazionale, etc). Al database accede direttamente il personale dell'Istituto, inserendo le proprie informazioni; il personale del Settore ha provveduto ad amministrare i dati relativi alle esperienze professionali, certificando di volta in volta le esperienze inserite dai singoli o inserendole direttamente se non presenti.

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

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

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

Il personale del Settore ha supportato tutte le fasi relative all'operazione di valutazione dei prodotti, tenendo i contatti con Anvur da un lato e con i vari attori della valutazione dall'altro (Gruppo Open Science, utenti sottoposti a valutazione e Direzione Scientifica). Sono stati controllati e validati più di 200 prodotti, inseriti dal personale dell'Istituto nel database METRICA al fine di ottemperare alla richiesta dell'art. 8 del bando VQR.

Partecipazione al Gruppo per l'Open Science

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

Tra le attività portate avanti dal Gruppo nel 2021 c'è l'aggiornamento dell'Archivio Istituzionale per le pubblicazioni (METRICA – IRIS), al fine di renderlo compatibile con la nuova Policy per l'Accesso Aperto e quindi con le richieste provenienti dalla CE e, in ambito nazionale, da ANVUR. In particolare, il Settore ha provveduto alla ristrutturazione, in collaborazione con Cineca, della homepage di METRICA al fine di renderla più funzionale (inserimento di link per il supporto dell'utente e miglioramento del modulo di ricerca) ed esteticamente più gradevole.

Il Settore ha fatto anche da tramite tra il Gruppo OS e la Direzione Scientifica durante la fase di selezione dei prodotti da portare in valutazione, contribuendo alle operazioni di controllo e di gestione delle operazioni effettuate su METRICA (il repository è stato utilizzato per la selezione dei prodotti da inviare ad Anvur); in particolare sono state controllati tutti prodotti da portare in valutazione, affinché rispettassero le indicazioni di Anvur relativamente agli allegati e alla loro fruibilità ad Accesso Aperto.

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

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

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

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

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

Nel 2021 il personale del Settore ha gestito e processato circa 2.000 documenti.

Preparazione della documentazione scientifica istituzionale prevista dallo Statuto dell'INRiM

Nel 2021 il personale del Settore ha prodotto, con il contributo delle Divisioni e il prezioso supporto degli uffici amministrativi e del Servizio Gestione Qualità, i tre seguenti documenti:

- Relazione Consuntiva di attività scientifica 2020;
- Risultati e dati 2020: nei tre documenti sono censiti nel dettaglio i prodotti dell'Istituto, distinti nelle tre categorie "Scientific Work", "NMI Role Work" e "Knowledge Transfer Work";
- Piano Triennale di Attività 2022-2024: la programmazione triennale dell'Ente, richiesta annualmente dal MUR.

Supporto al Direttore Scientifico nelle riunioni del Consiglio di Direzione

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

Supporto nella gestione di pratiche riguardanti il personale scientifico

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

Il Settore ha provveduto a raccogliere e gestire le richieste di attivazione di bandi di concorso e selezione, nonché le richieste di proroga e rinnovo del personale con contratto a tempo determinato e assegni di ricerca.

Il personale ha raccolto, anche nel 2021, i dati relativi al personale attivo in Istituto e alla sua localizzazione nelle Divisioni e nei laboratori.

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

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

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

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

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

Il Settore ha provveduto a censire le associazioni a cui l'INRiM ha aderito nel corso del 2021 (nuove associazioni o rinnovi). A tal proposito è stato predisposto un elenco inerente le associazioni attive afferenti alla Direzione Scientifica; il sopra citato elenco è in costante aggiornamento.

1.3 – LE RISORSE UMANE DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA

Le tabelle qui di seguito riassumono il quadro delle risorse umane della Direzione Scientifica dell'INRiM.

I numeri fanno riferimento alla situazione del personale rilevata al 31 dicembre 2021.

La tabella a seguire mostra, nell'arco dell'ultimo quadriennio, la distribuzione del personale TI (Tempo Indeterminato) e TD (Tempo Determinato) distinto per profilo.

Tabella 15 - Personale TI e TD

DIREZIONE SCIENTIFICA	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
<i>Tot 2021 (TI)</i>	7	28	83	52	4	174
<i>Tot 2021 (TD)</i>	1	-	5	5	-	11
<i>Tot 2020 (TI)</i>	8	29	76	51	4	168
<i>Tot 2020 (TD)</i>	1		7	1		9
<i>Tot 2019 (TI)</i>	9	29	66	55	4	163
<i>Tot 2019 (TD)</i>	-	-	2	-	-	2
<i>Tot 2018</i>	10	30	62	54	3	159

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

Tabella 16 – Distribuzione del personale TI nelle Divisioni

Div	Dir R&Tcnl	Primi R&Tcnl	R&Tcnl	Tecnici	Ammin.	TOT
ML	3	9	26	12	-	50
AE	1	12	26	24	-	63
QN	3	7	30	15	-	55
SCDS	-	-	1	1	4	6
<i>Tot 2021</i>	7	28	83	52	4	174
<i>Tot 2020</i>	8	29	76	51	4	168
<i>Tot 2019</i>	9	29	66	55	4	163
<i>Tot 2018</i>	10	30	62	54	3	159

Tabella 17 – Distribuzione del personale TD nelle Divisioni

Div	R&Tcnl	Tecnici	TOT
ML	2	-	2
AE	1	3	4
QN	2	2	4
<i>Tot 2021</i>	5	5	10
<i>Tot 2020</i>	7	1	8

Le tabelle a seguire riportano, infine, i dati relativi al personale non strutturato dell'INRiM (assegnisti, borsisti, dottorandi e associati) distribuito per Divisione.

Tabella 18 – Distribuzione del personale non strutturato: assegni e borse

Divisione	Assegni di ricerca	Borse di addestramento alla ricerca
ML	8	-
AE	3	-
QN	17	2
Tot 2021	28	2
Tot 2020	29	1

Tabella 19 – Distribuzione del personale non strutturato: dottorandi

Divisione	PhDs
ML	14
AE	3
QN	15
Tot 2021	32

Tabella 20 – Distribuzione del personale non strutturato: associati

Divisione	Associati di tipo A	Associati di tipo B	Associati di tipo C	Totale
ML	-	4	6	10
AE	-	2	4	6
QN	-	9	2	11
DIREZIONE SCIENTIFICA	-	1	2	3
Totale	-	16	14	30

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

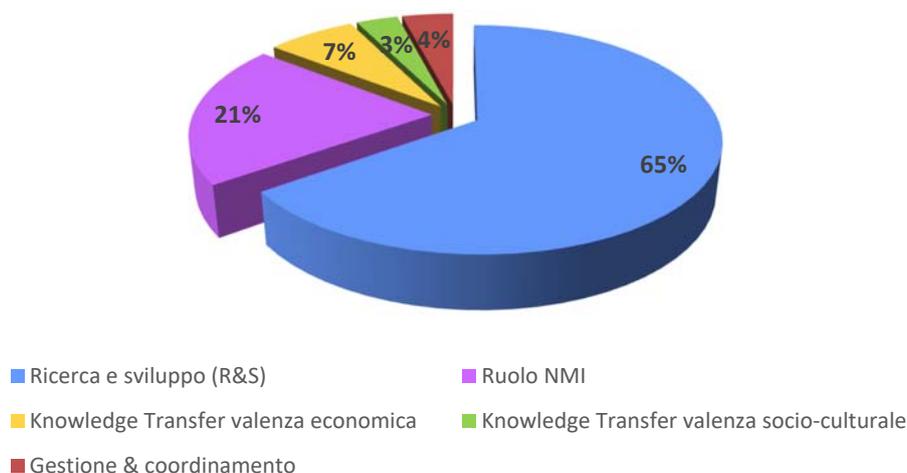
Nelle tabelle in testa a ciascun settore (riportate di seguito nella sezione dedicata a ciascuna Divisione) è riportata la distribuzione delle attività del personale tra R&S (Ricerca e Sviluppo), Ruolo NMI (mantenimento, *upgrading*, confronti internazionali e collaborazione in organismi metrologici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

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

Le attività svolte dal personale INRiM nel 2021 sono state dedicate per il 65%, all'attività di Ricerca Scientifica (R&S), mentre le attività legate al ruolo NMI rappresentano il 21% del totale. Sia la tabella che il grafico sottostante mettono in luce il peso minore delle attività di Knowledge transfer (7% e 3%), al cui sviluppo si dovrà tendere nei prossimi anni. Infine, un 4% riguarda le attività di Gestione & coordinamento.

Tabella 21 – Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni

Divisione	Ricerca & Sviluppo (R&S)	Ricerca Istituzionale (Ruolo NMI)	Terza Missione a valenza economica	Terza Missione a valenza socio-culturale	Gestione & coordinamento	Totale
ML	551	143,5	17,5	29	27	768
AE	372,5	235,7	72,1	30,1	47	757,4
QN	704,2	139,2	88	15,4	37,9	984,7
Totale	1627,7	518,4	177,6	74,5	111,9	2510,1
%	65%	21%	7%	3%	4%	100%



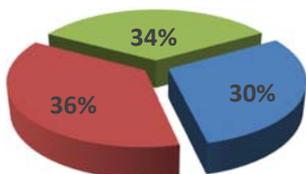
Distribuzione dei mesi/persona 2021 per tipologia di attività.

La tabella 22 e i grafici successivi, mostrano la distribuzione dei mesi/persona all'interno delle Divisioni, differenziando tra personale strutturato (TI e TD) e personale non strutturato (assegnisti, borsisti, dottorandi e associati). I mesi/persona totali per Divisione sono la somma delle attività sopra considerate (R&S, Ruolo NMI, Terza Missione nelle due valenze, Gestione & Coordinamento).

Tabella 22 - Distribuzione dei mesi/persona nelle Divisioni: strutturati e non strutturati

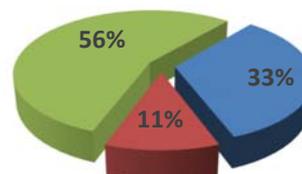
2021	Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (ML)	Metrologia applicata e ingegneria (AE)	Metrologia quantistica e nanotecnologie (QN)
Totali m/p strutturati	557	685,9	631,8
Totali m/p non strutturati	211	71,5	352,9
Totali	768	757,4	984,7
Totali in %	31%	32%	37%

Personale strutturato



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

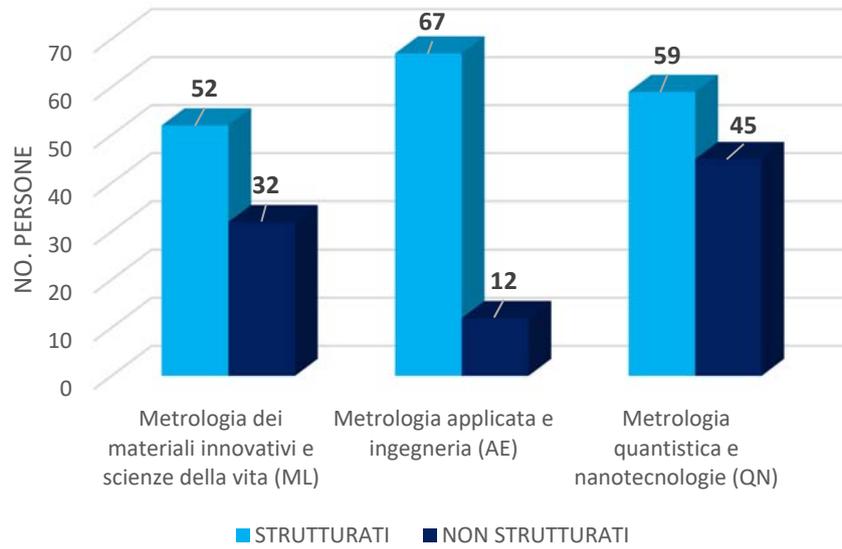
Personale non strutturato



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

Rappresentazione dei mesi-persona 2021 elencati in Tabella 24.

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



1.5 – LE DIVISIONI

Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Responsabile: Paola Tiberto

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2021

Ricercatori e Tecnologi: 40. Tecnici: 12

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 22. Associati e incarichi: 10

Articolazione delle attività

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

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

La Divisione complessivamente è attiva nell'ambito delle tre missioni dell'INRiM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo

NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede di Settore. Nel corso del 2021 la Divisione ha pubblicato 67 lavori su rivista internazionale indicizzata (di cui 64 con Impact Factor) e ha partecipato a 25 contratti di ricerca nazionali e internazionali, molti dei quali nell'ambito dell'European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), di cui cinque coordinati dalla Divisione (18HLT05 Quiero, 19NRM05 IT4PQ per ML02, 18HLT06 Rachy per ML03, 19ENG06 HEFMAG per ML05 e 20FUN06 MEMQuD per ML01). Nell'ambito del programma H2020, la Divisione partecipa inoltre a due progetti MSCA ITN riguardanti i materiali magnetoelettrici. La Divisione è stata infine particolarmente attiva nella proposizione di proposte di progetto in tutte le Call EMPIR 2019, ottenendo fra gli altri l'approvazione di un nuovo progetto a coordinamento INRiM nella Call Fundamental.

Nel corso del 2021, la Divisione ha partecipato alla messa a punto e all'avvio delle attività relative alle tre reti di EURAMET denominate European Metrology Networks (EMN), quali:

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

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

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

EMN on Advanced Manufacturing

La EMN on Advanced Manufacturing (EMN-AdvanceManu), coordinate dal PTB, è stata approvata nel 2021.

Lo scopo della EMN è quello di creare una rete europea stabile e sostenibile fra istituti di metrologia, altri enti di ricerca, università, e realtà industriali soprattutto innovative per assicurare la qualità dei processi industriali e dei loro prodotti. Lo scopo è quello di dare supporto metrologico adeguato ai bisogni provenienti da tutti i settori industriali, a partire da quelli di provenienza dei membri attuali della rete.

Ricerca e Sviluppo

Nel corso del 2021 la Divisione ha partecipato a 20 progetti di ricerca internazionali, di cui 5 coordinati da INRiM. Di seguito si riportano i risultati di maggior rilievo ottenuti nell'ambito delle diverse linee di attività nei cinque settori.

Sistemi modello 3D per materiali di riferimento e standard

Sono state realizzate nanostrutture e materiali di riferimento per lo sviluppo di tecniche di misurazione affidabili e riferibili nel campo delle analisi chimiche 3D, analisi a raggi X, metrologia dimensionale alla nanoscala, nanofotonica e biosensing. I campioni di riferimento alla nanoscala consentono 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). I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

Materiali funzionali e metamateriali

Sono stati prodotti i primi campioni di metamateriali basati su copolimeri a blocchi lamellari ed è stata caratterizzata la risposta ottica in presenza di sorgenti di singolo fotone (nano-diamanti e quantum dots). E' stato 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 sono stati implementati 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. Infine sono stati realizzati set-up di caratterizzazione delle proprietà ottiche ed elettriche dei materiali e dei dispositivi realizzati. I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

Analisi ottica di materiali porosi

E' stata effettuata un'attività di modeling numerico delle proprietà locali del campo elettromagnetico all'interno di un mezzo poroso tramite infiltrazione di coppie di emettitori separati da nano-distanziatori. I risultati ottenuti hanno guidato la scelta dei materiali e l'interpretazione dei risultati sperimentali ottenuti tramite una collaborazione con il centro IIT CLNS@Sapienza. Inoltre, è stata effettuata un'attività di sviluppo software open-source per la simulazione dello scattering di luce da elementi discreti disposti all'interno di una geometria a multi-layer, in collaborazione con un team di sviluppatori afferenti a vari istituti. I risultati ottenuti hanno prodotto pubblicazioni su riviste ad alto IF.

Fotonica tunabile in polimero

La risoluzione della tecnica litografica *two photon direct laser writing* è determinata dai parametri fabbricativi e dal materiale impiegato. L'attività svolta è stata mirata a migliorare la risoluzione della tecnica litografica per materiali custom tramite l'impiego di un controller in temperatura. E' stato dimostrato come in materiali non commerciali con proprietà liquido cristalline sintetizzati nei nostri laboratori si ottengano risoluzioni comparabili con le resine commerciali grazie a celle peltier a temperatura controllata. Questo risultato apre alla realizzazione di strutture fotoniche con risoluzioni al di sotto del limite diffrattivo in materiali foto-responsivi.

I risultati ottenuti sono stati pubblicati su rivista.

Materiali polimerici disordinati e riconfigurabili per crittografia classica

Sono stati fabbricati e caratterizzati sperimentalmente sistemi fotonici complessi caratterizzati da diversa forza di scattering per determinare come le proprietà ottiche del sistema consentano di massimizzare il contenuto informativo delle risposte ottiche delle PUFs. Parallelamente è stato studiato come la riconfigurazione reversibile e irreversibile di sistemi complessi disordinati foto-responsivi quali i cristalli liquidi dispersi in polimero consenta di creare PUFs riscrivibili e dotate di un funzionamento a multi-livello. E' stata inoltre investigata la sensibilità e robustezza di PUF ottiche bidimensionali e confrontata con risultati numerici.

Dispositivi superconduttivi

E' stato ottimizzato il processo di litografia a fascio elettronico per la realizzazione di nanostrisce in configurazione di barra Hall per misure a quattro terminali. I campioni con larghezze da 500 a 100 nm sono misurati in collaborazione con l'Università di Camerino e servono a completare e confermare i modelli sviluppati per il crossover dimensionale da 2D a 1D.

E' stato ottimizzato il processo di litografia laser e di dry etching tramite Reactive Ion Etching (RIE) con gas reattivi adatti al materiale in oggetto. Pur non essendo critiche le dimensioni delle microstrisce realizzate, è stata ottimizzata la litografia su campioni di piccole dimensioni. Sulla fase di rimozione del nitrato di niobio in eccesso è stato messo a punto un processo RIE altamente selettivo su diversi substrati (zaffiro, ossido di

silicio e ossido di magnesio).

Dispositivi memresistivi

Sono stati realizzati e caratterizzati sistemi elettronici alla nanoscala quali nanofili per la realizzazione di dispositivi elettronici innovativi quali memresistori per l'emulazione di funzionalità sinaptiche.

Singoli nanowili sono stati utilizzati 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 (in particolare Reservoir Computing). L'attività sperimentale è stata 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 sono state svolte in collaborazione con il Politecnico di Torino e Politecnico di Milano.

Inoltre, dispositivi memresistivi sono stati utilizzati per lo studio della conduzione elettronica e ionica alla nanoscala e fenomeni di conduttanza quantizzata nell'ambito del progetto EMPIR MEMQuD 20FUN06. A tale scopo, fenomeni di conduzione quantizzata sono stati investigati in singoli nanofili, reti di nanofili e dispositivi memresistivi basati su film sottili.

Inoltre, è stato ottimizzato il processo di deposizione di un multilayer di Nb/NbO_x/Au mediante DC sputtering in ultra alto vuoto per la realizzazione di dispositivi memresistivi. Sono state effettuate misure preliminari di switching tramite probe station e Keithley 4200.

Tomografia MR quantitativa

Nell'ambito del progetto EMPIR 18HLT05 QUIERO, è stata consolidata la libreria EPTlib. In particolare, le prestazioni degli algoritmi sono state caratterizzate tramite applicazione su dati sintetici e su dati sperimentali raccolti su phantoms simulatori tissutali. Una campagna di misurazioni e caratterizzazione delle proprietà dielettriche dei phantoms ha fornito i dati di riferimento da utilizzare al variare della frequenza e della temperatura. In collaborazione con l'IRCCS Stella Maris (Pisa), è stata sviluppata una nuova tecnica di EPT, che utilizza in input mappature dei tempi di rilassamento magnetici e, grazie alla correlazione con il quantitativo d'acqua, deduce le corrispondenti proprietà dielettriche nei tessuti cerebrali. È stata inoltre avviata una collaborazione con UMC Utrecht per la valutazione dell'incertezza dei metodi di EPT a livello del singolo pixel. In aggiunta, per promuovere gli studi sull'identificazione automatica delle patologie, è stata creata una popolazione di "pazienti virtuali" (alcuni sani, altri con inclusioni anomale nella materia bianca del cervello), i cui dati di EPT sono stati impiegati come biomarcatori. Come attività collaterale, è stato avviato uno studio per verificare la possibilità di effettuare una valutazione di tipo subject-specific per il SAR (specific absorption rate) nel corpo di pazienti sottoposti a MRI.

Sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici

Sulla tematica MRI-safety e rischio correlato, si sono completate le attività relative al progetto EMPIR 17IND01 MIMAS. In questo contesto sono stati quantificati gli effetti di riscaldamento di protesi metalliche dovuti alla combinazione del campo a radiofrequenza (RF) e del campo di gradiente (GC). Si è condotta un'ampia analisi parametrica sui fattori che determinano il riscaldamento di dispositivi impiantati di piccole dimensioni soggetti a campi RF e GC. Si sono studiati gli effetti dell'applicazione della "virtual surgery" sui fenomeni di riscaldamento, quantificando l'effetto dell'uso di modelli digitali avanzati per la MRI.

Nel progetto MIMAS INRiM ha messo a punto una facility sperimentale per la misura del riscaldamento di protesi metalliche realistiche sottoposte a campi magnetici analoghi a una MRI reale. Sulla base dei risultati ottenuti è stata proposta una procedura per la verifica sperimentale del riscaldamento di protesi dovuto al GC. Tale procedura potrebbe essere considerata per l'estensione dell'attuale normativa ISO e la stesura di una eventuale procedura ASTM. Infine, in collaborazione con l'Università di Padova, è stato messo a punto un efficiente strumento di simulazione per analisi anche stocastiche dell'interazione CEM - corpo umano. Questo strumento è stato impiegato per svolgere analisi di *peripheral nerve stimulation* (PNS) per pazienti portatori di

protesi ortopediche e sottoposti a MRI. Sul tema ipertermia magnetica si è completato lo studio degli effetti di riscaldamento indesiderati in pazienti portatori di protesi per il trattamento di tumori. Sono state sviluppate metodologie di simulazione *ad hoc* per poter riprodurre gli effetti indotti in strutture filamentari non trattabili in modo diretto all'interno di modelli digitali a voxel.

Efficienza dei sistemi di trasporto elettrico

Nell'ambito del completamento del progetto 16ENG08 MICEV si è effettuata un'analisi del trasferimento di potenza wireless tramite misure e modelli elettromagnetici. Mediante una sintesi dei risultati ottenuti e delle procedure di analisi adottate, è stata redatta una guida per la valutazione della conformità all'esposizione umana di sistemi di trasferimento di potenza per la ricarica induttiva. Il lavoro è stato coordinato da NPL e da INRiM, con la partecipazione di vari partner internazionali. Grazie alle misure condotte nel 2020 nell'ambito del progetto 16ENG04 MyRailS, sono stati sviluppati ed applicati algoritmi per la determinazione dell'energia elettrica dissipata dai reostati di frenatura, nonché il risparmio energetico introdotto da sottostazioni reversibili. Sono stati identificati e catalogati gli eventi elettrici transitori osservati al pantografo di sistemi di trazione ferroviari e tramviari. È stata emulata l'integrazione dell'algoritmo di detecting degli archi elettrici nei dispositivi di misura dell'energia elettrica a bordo treno per scopi fiscali.

Sistemi magnetrottivi per l'energy harvesting

Con l'università di Tampere (FI) si è messo a punto un modello semplificato di un harvester magnetrottivo utilizzando equazioni costitutive linearizzate. La perdita dovuta alle correnti parassite è inclusa nel modello. L'approccio è utile quando gli harvesters lavorano, come spesso accade, con vibrazioni di ampiezza limitata. Il modello è stato validato con risultati sperimentali.

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

Nell'ambito del completamento del progetto Future Grid II, è stato messo a punto il sistema per caratterizzazione di trasformatori di tensione con uscita digitale e sono in fase di sperimentazione le relative procedure di misura. Con riferimento al progetto IT4PQ, le capacità del sistema modulare di riferimento per generazione e misura di tensioni sinusoidali e distorte sono state estese alla generazione di subarmoniche, disturbi a bassissima frequenza e serie di disturbi sequenziali o combinati; con prime applicazioni ai dispositivi di misura. Sono stati inoltre messi a punto e sperimentati due metodi semplificati per la stima della risposta in frequenza di trasformatori di misura, basati sull'utilizzo di strumentazione normalmente già disponibile in laboratori di misura e prova.

Acustica in Aria

E' stato progettato un sistema di misura per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici MEMS mediante i metodi di confronto e reciprocità. Il set-up di misura è tale da assicurare una verifica puntuale delle caratteristiche di tali dispositivi nella gamma di frequenze 20 Hz - 20 kHz. Grazie alla realizzazione di un adattatore che consente l'accoppiamento meccanico con gli attuali sistemi di taratura per i microfoni di tipo LS2, è possibile sfruttare gli strumenti e i SW utilizzati per la taratura dei microfoni a condensatore.

Ultrasuoni

Sono stati realizzati e caratterizzati 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*, realizzato presso IRCCS Ospedale san Raffaele di Milano.

- Trasduttore onda piana ($f = 0.9$ MHz e $f = 1.5$ MHz) per realizzazione del sistema d'insonazione utilizzato per l'apertura della barriera ematoencefalica, collaborazione con IRCCS Carlo Besta di Milano.

Nanomateriali e dispositivi per applicazioni terapeutiche e diagnostiche

Nell'ambito del progetto EMPIR RaCHy, in collaborazione con l'*Erasmus Medical Center* di Rotterdam, è stato realizzato e caratterizzato su *phantom* un applicatore a radiofrequenza (RF), per ipertermia elettromagnetica (EM). L'applicatore RF ha dimostrato ottime prestazioni in termini di riscaldamento anche su colture cellulari 3D. Si è inoltre proseguita l'analisi modellistica di nanoparticelle magnetiche, analizzando l'influenza di forma, dimensioni e concentrazione sulle proprietà di ipertermia. Per la valutazione della relativa efficacia terapeutica sono stati realizzati codici di calcolo *in silico*, in grado di determinare la potenza depositata e l'incremento di temperatura indotto in modelli computazionali animali ad alta risoluzione. Sono state preparate e caratterizzate, in collaborazione con ML5, nanoparticelle in magnetite e ferrite di cobalto, mediante tecniche di coprecipitazione in ambiente basico. Si è dimostrato come l'utilizzo di *coating* superficiali biocompatibili (e.g. citrato di sodio) possa aumentare la stabilità delle formulazioni colloidali e la migliore dispersione delle nanoparticelle, consentendo un miglioramento delle proprietà di ipertermia.

È proseguito lo studio di *nanodroplet* a base di perfluorocarburi con azione antimicrobica, investigando i meccanismi di attivazione in set-up sperimentali di microfluidica, tramite l'acquisizione di video ad alta velocità. In collaborazione con il DISAT (POLITO), si è realizzato un set-up sperimentale per l'analisi dell'emissione luminosa da cavitazione indotta da ultrasuoni nelle colture cellulari. Sono stati inoltre effettuati esperimenti sull'azione di nanocristalli in ZnO nell'attivazione del segnale di sono-luminescenza.

Materiali simulatori tissutali e *digital twin* per la diagnostica MRI

Nel progetto EMPIR QUIERO, al fine di sviluppare tecniche di *imaging* avanzate, quali il *Magnetic Resonance Fingerprinting* e l'*Electrical Properties Tomography*, sono state definite le composizioni per diversi *phantom*, omogenei ed eterogenei, in grado di simulare i tempi di rilassamento (T1 e T2) e le proprietà elettriche dei tessuti cerebrali. Le proprietà elettriche sono state misurate in INRiM grazie alla collaborazione con ML2. I *phantom* antropomorfi, realizzati tramite stampi a base di silicone e cryogel, sono stati caratterizzati in diversi scanner MRI per applicazioni cliniche e precliniche, mostrando una buona stabilità temporale delle proprietà di rilassamento.

Nel progetto EMPIR iMet-MRI è stato implementato un simulatore MRI basato sulle equazioni di Bloch. Dopo la fase di validazione per confronto con soluzioni analitiche, il simulatore è stato utilizzato per generare immagini digitali di materiali di riferimento e *phantom* caratterizzati all'interno del consorzio. Lo scopo è la realizzazione di un database digitale, che possa essere impiegato per migliorare l'affidabilità in ambito MRI nella quantificazione di biomarcatori, come il livello di lipidi e ferro nei tessuti. .

Biomateriali per la medicina rigenerativa

Nel corso del progetto ERC-BIORECAR, coordinato dal DIMEAS (POLITO), sono stati caratterizzati, tramite *digital PCR* e tecniche di microscopia, i processi di riprogrammazione di fibroblasti in cardiomiociti, mediati da microRNA e coadiuvati da biomatrici e *scaffold* 3D di idrogel di fibrina. Sono state acquisite immagini 3D della proliferazione cellulare in *scaffold* per la rigenerazione del tessuto cardiaco, tramite microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF.

Nel progetto CRT Visco3DCell, sono stati sviluppati dei metodi di misura di *force spectroscopy* mediante microscopia AFM, per la caratterizzazione in termini di elasticità locale di *scaffold* polimerici per la riparazione tissutale. Sono stati inoltre sviluppati metodi di preparazione basati su *self-assembly* di superfici nanostrutturate di polimeri liquido-cristallini per favorire l'allineamento cellulare (mediante "*cell contact guidance*"). Gli *scaffold* di elastomeri liquido-cristallini così ottenuti sono stati testati in termini di biocompatibilità e induzione della crescita cellulare, in funzione delle relative proprietà meccaniche e

microstrutturali. In collaborazione con l'IRCCS Istituto Ortopedico Galeazzi di Milano sono proseguiti gli esperimenti in *time-lapse* per lo studio della dinamica di *uptake* cellulare di vescicole extracellulari con funzione antinfiammatoria e rigenerativa del tessuto cartilagineo. Lo studio è stato eseguito su tessuti umani e bioingegnerizzati utilizzando le tecniche di microscopia CARS-SHG-TPEF. Sono stati inoltre sviluppati algoritmi di analisi delle immagini per la valutazione della profondità di penetrazione delle nano-vescicole, dell'area e del volume occupati e della loro colocalizzazione rispetto ai tessuti e alle cellule.

Misura di biomarcatori

E' stato ottimizzato il metodo di analisi, sviluppato presso l'INRiM, per la misura di copie del virus SARS-CoV-2; è stato sviluppato un metodo per la quantificazione di variazioni del numero di copie e del rapporto tra i geni HER2/RPPH1, come biomarcatori del tumore al seno; sono stati eseguiti test per l'ottimizzazione dei protocolli di estrazione di RNA da cellule in adesione. 2) Caratterizzazione di stati patologici tramite INAA: Sono stati elaborati i dati sperimentali ottenuti nella misura di cobalto accumulato nei capelli di 30 pazienti dell'Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna, portatori di protesi metallica di tipo Metal-on-Metal (MoM).

Tecniche di microscopia

Si è sviluppata la tecnica CARS in eterodina tramite modulazione ottica dei segnali di eccitazione. Si sono implementati algoritmi per l'elaborazione di immagini 3D e la creazione di un'immagine macro, a partire da diverse acquisizioni 3D ottenute in modo automatizzato. Sono stati sviluppati algoritmi genetici di *clustering* a partire da dati multivariati e immagini iperspettrali, al fine di discriminare oggetti con caratteristiche dimensionali o chimiche simili. Sono stati effettuati esperimenti preliminari in *time-lapse* di *uptake* cellulare di microplastiche tramite microscopia ottica non-lineare CARS.

Sono stati sviluppati metodi per la caratterizzazione del modulo elastico di materiali per applicazioni biomedicali tramite *force spectroscopy* e si è valutato l'uso del polidimetilsilossano (PDMS) come materiale di riferimento per la taratura.

Magnetismo nei materiali allo stato solido

Le attività sono state rivolte a vari aspetti e, in particolare a: 1) comprensione e misura dei fenomeni magnetici su scala da nano a bulk con analisi dei processi di dissipazione di energia in strutture diverse e frequenze di lavoro variabili da DC ai GHz; 2) studio degli effetti di modifiche strutturali e/o di composizione dei materiali per ottimizzarne il comportamento magnetico; 3) estensione delle capacità di misura a materiali nuovi e ai minerali naturali; 4) ottimizzazione delle proprietà magnetiche dei materiali in funzione delle loro applicazioni.) 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 di energia 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 magnetostriazione in film sottili tramite microscopia con sonda a scansione (AFM); **6)** E' stato sviluppato un sistema microscopico magneto-ottico per osservare le dinamiche di variazione dei domini magnetici in un ampio campo di frequenze. Il suo utilizzo permette 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, misure di ipertermia e approcci di machine learning.

E' stato effettuata una estensione degli standard internazionali 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. I risultati ottenuti sono stati pubblicati su riviste internazionali.

Materiali innovativi per la spintronica e il nanomagnetismo

La attività hanno riguardato: **1)** Preparazione di nanostrutture e di film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves, di spin-Seebeck, e per la magneto-meccanica. **2)** funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche per applicazioni in campo biomedico (collaborazione con ML4); **3)** preparazione e caratterizzazione di leghe magnetiche in forma massiva, con differenti proprietà funzionali (dure, magnetocaloriche, magnetostrittive, termoelettriche) tramite tecniche di solidificazione rapida e metallurgia delle polveri; **4)** studio della tecnica sonochimica come mezzo di idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica o l'immagazzinamento di idrogeno (collaborazione con ML4). **5)** Crescita e caratterizzazione film sottili con magnetoresistenza anisotropica per sensoristica biomedica (Nano4Brain); **6)** preparazione e caratterizzazione 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); **7)** realizzazione di composti magnetici di Heusler sotto forma di film sottili prodotti per sputtering o epitassia a fascio molecolare (collaborazione con ML1); **8)** studio delle trasformazioni ordine-disordine in film sottili a base Fe-Pd; **9)** studio delle proprietà magnetiche e microstrutturali delle ossidiane di interesse archeologico al fine di supportarne la determinazione di provenienza; **10)** studio dell'influenza della simmetria cristallina dei magneti chirali sullo sviluppo della Dzyaloshinskii-Moriya Interaction.

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

Spintronica

L'attività si è concentrata sui seguenti temi:

1) Spincaloritronics: 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 heterostructures 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*).

Ruolo NMI

La Divisione mantiene e sviluppa Campioni Nazionali. Nel 2021 sono stati emessi circa 200 certificati di taratura e prova, distribuiti principalmente nelle aree EM-Electric and magnetic fields, EM-High Voltage and Current e AUV-Sound.

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

Partecipazione a reti e organismi metrologici

Consolidamento delle attività delle reti metrologiche europee (EMN) di riferimento Mathematics and Statistics (MATHMET) and Smart Electricity Grids (SEG) e ai comitati EURAMET di riferimento. Partecipazione ai JNP per lo sviluppo delle due reti con contributo specifico relativo alle attività di Knowledge transfer e training del JNP SEG-net. Contributo alle attività del TC IM (Interdisciplinary Metrology) e al SC Power&Energy del TC EM.

Partecipazione a organismi metrologici e tecnici

Redazione di una prima bozza di Technical Report (TR) sul WPT con contributo particolare al WPT per i veicoli elettrici. Redazione di un Allegato informativo sulla determinazione dell'incertezza di misura della potenza a bordo veicolo da inserire nella norma IEC 62888. Supporto alla disseminazione e allo sfruttamento dei risultati dei progetti di ricerca MyRailS e IT4PQ mediante presentazioni all'IEC TC 38 AG CAG e WG47. Contributo ai lavori dei comitati tecnici IEC e CEN come ricaduta delle tematiche di ricerca.

Sviluppo, e mantenimento di campioni e CMC

Redazione della procedura per la taratura di catene di misura di potenza ed energia (EMF) e di trasduttori combinati di tensione e corrente per applicazioni ferroviarie in DC.

Partecipazione a confronti di misura internazionali

Contributo alle attività preliminari dei confronti di misura EURAMET.EM.S36 Comparison of partial discharge (PD) calibrators from 0.1 pC to 10 nC e EURAMET.EM.RF-S46 "Comparison of magnetic field strength measurements for frequencies up to 30 MHz".

Disseminazione e organizzazione di confronti interlaboratorio

È proseguita l'attività di disseminazione per le grandezze campi elettrici, magnetici ed EM, alte tensioni DC e AC, rapporto di forti correnti AC, così come l'estesa attività di revisione delle procedure tecniche. Sono state inoltre effettuate le misure relative a un ILC nazionale per le grandezze forti correnti alternate.

Il settore **Acustica e Ultrasuoni** cura il mantenimento del campione nazionale di pressione acustica. Garantisce il servizio riguardante la taratura dei campioni acustici di riferimento dei laboratori di taratura accreditati, che garantisce la disseminazione e la riferibilità metrologica per le grandezze acustiche. Il settore ha collaborato stabilmente con ACCREDIA e con gli enti di normazione nazionali, CEI. Presiede il comitato CEI CT29/87 "Acustica e Ultrasuoni", enti di normazione internazionali, IEC TC 29 "Elettroacoustics" e IEC TC 87 "Ultrasonics". Sovrintende i lavori del sottocomitato "Ultrasound and Underwater Acoustic" del TCAUV e ha coordinato i lavori del sottocomitato "Sound in Air".

E' stato effettuato il referaggio norme IEC e CEI in ambito acustico e ultrasonoro.

- Relazioni finali per i 12 laboratori partecipanti al confronto ILC AUV-01/2021
(Relazioni N. 21-0270-01÷12)
- Relazione finale per il laboratorio partecipante al confronto ILC AUV-02/2021
(Relazione N. 21-0301-03)

Il settore **Scienze e tecnologie Biomediche** ha svolto attività nei seguenti ambiti:

Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio

Partecipazione a confronti internazionali organizzati dai *Working Group "Nucleic Acid Analysis"* (NAWG) e *"Cell Analysis"* (CAWG), rispettivamente sulla misura, tramite *digital PCR*, di biomarcatori tumorali (BRAF/EGFR, HER2) e sul conteggio di cellule (monociti, linfociti) e di materiali di riferimento (*bead*), tramite microscopia ottica.

Elaborazione, mediante il software k0-INRiM, di dati sperimentali acquisiti presso lo Jožef Stefan Institute in

Slovenia, nell'ambito di un confronto internazionale organizzato dall'IAEA, per la validazione di software utilizzati nelle misure INAA con il metodo di standardizzazione k0.

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

Sviluppo, nell'ambito del *Working Group "Isotope Ratios"* (IRWG) del CCQM, di metodi per la misura del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ tramite INAA. Partecipazione al 13th meeting del "*Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration*" (CCAUV).

Revisione e pubblicazione di due guide per applicazioni nella medicina rigenerativa, proposte rispettivamente dai sottocomitati F04.42 "*Biomaterials and Biomolecules for TEMPs*" e F04.43 "*Cells and Tissue Engineered Constructs for TEMPs*".

Attività di networking tra NMI

Consolidamento delle reti EMN 1) TraceLabMed e 2) Mathmet, attraverso la realizzazione delle attività previste nei relativi progetti (JNP 18NET02 e JNP18NET05).

In particolare per TraceLabMed: Preparazione di questionari rivolti ad attori attivi nel controllo qualità nel settore dei dispositivi medico-diagnostici *in vitro* (IVD), e supporto all'organizzazione di confronti interlaboratorio che rispondano alla normativa UE 2017/746 in termini di riferibilità dei dispositivi per IVD. Per quanto riguarda MathMet: Contributo alla redazione di una prima bozza di agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca negli ambiti della modellistica computazionale, dell'analisi dati e dell'intelligenza artificiale.

Supporto all'accreditamento

Nell'ambito della convenzione con ACCREDIA, si è fornito supporto all'accreditamento delle biobanche, in conformità con la recente norma UNI ISO 20387.

Il settore **Magnetismo, Materiali e Spintronica Metrologia magnetica** ha svolto attività per il miglioramento e consolidamento della metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici. I principali ambiti in cui ha operato sono: **1)** Esecuzione di misure di perdita su Epstein e SST (progetto HEFMAG) a temperatura ambiente e fino a 155°C nell'ambito di vari Round Robin internazionali. Sviluppo di software Python per la gestione e l'analisi di grandi quantità di dati sperimentali. 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 spessore ridotto, alta temperatura sino a 155°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). **3)** Trasferimento di conoscenze in merito a misure e calibrazioni magnetiche a colleghi di NMI stranieri (CEM, Spagna; NSAI, Irlanda; quadro del progetto 21SCP02 TRaMM).

Campioni nazionali (DM 591/1993)

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

Altri campioni

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

Trasferimento tecnologico (Knowledge Transfer)

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

Didattica universitaria e formazione

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

Divulgazione scientifica

Sono state svolte lezioni tematiche rivolta alle scuole primarie di primo grado, secondarie di primo e secondo grado. Partecipazione alla "Notte europea dei ricercatori 2021". Ricercatori della Divisione hanno partecipato ad iniziative di formazione e diffusione della cultura scientifica.

Trasferimento tecnologico

La Divisione effettuata trasferimento tecnologico attraverso contratti industriali (i.e. Selta, RSE e Tetrapack). I ricercatori effettuano inoltre attività di supporto tecnico e di consulenza alle imprese nei campi di interesse della Divisione.

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

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Amato Giampiero	8,00	1,00	0,00	2,00	0,00	11,00
Angelini Angelo	9,50	0,00	0,00	0,500	1,00	11
Boarino Luca	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	11
De Leo Natascia	7,00	0,00	0,00	1,00	3,00	11
Ferrarese Lupi Federico	10,00	0,00	0,00	0,50	0,50	11
Fretto Matteo	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	11
Milano Gianluca	9,00	0,00	0,00	0,00	2,00	11
Monticone Eugenio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Nocentini Sara	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Pattelli Lorenzo	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Sardi Angelo	1,50	0,00	0,00	4,00	0,00	5,5
Personale TD						
Nocentini Sara (TI dal 01-12-2021)	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
<i>Tot</i>	95	3	1	9	7,5	115,5
Assegni di ricerca						
Cara Eleonora	8,00	1,00	1,00	1,00	0,00	11
PhDs						
Bonino Vittorio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Channab Marwan	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
De Carlo Ivan	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Leonetti Giuseppe	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Magosso Chiara	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Murataj Irdi	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Personale associato						
Foggi Paolo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Laus Michele	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Pinto Nicola	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
<i>Tot</i>	57	1	1	1	0,0	60
Totale	152	4	2	10	7,5	175,5

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 mediante Atomic Layer Deposition per un campione per Fluorescenza a Raggi X a Riflessione Totale (TXRF).

Attività svolta. Sono state realizzate nanostrutture e materiali di riferimento per lo sviluppo di tecniche di misurazione affidabili e riferibili nel campo delle analisi chimiche 3D, analisi a raggi X, metrologia dimensionale alla nanoscala, nanofotonica e biosensing. I campioni di riferimento alla nanoscala consentono 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 ottenuti. Sono state effettuate delle analisi superficiali preliminari delle nanostrutture e dei materiali di riferimento presso il Sincrotrone BESSY II nella beam line gestita dal PTB di Berlino (XRF e TXRF) che hanno fornito utili indicazioni sulla possibilità di quantificare il materiale infiltrato nei copolimeri a blocchi con grande

precisione e ripetibilità. Nel corso del 2022 la campagna di misura verrà estesa al centro di spettrometria di massa NICE-MSI del NPL e ancora presso il PTB Berlino.

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, Xenos 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.

Attività svolta. Sono stati prodotti i primi campioni di metamateriali basati su copolimeri a blocchi lamellari ed è stata caratterizzata la risposta ottica in presenza di sorgenti di singolo fotone (nano-diamanti e quantum dots). E' stato 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 sono stati implementati 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. Infine sono stati realizzati set-up di caratterizzazione delle proprietà ottiche ed elettriche dei materiali e dei dispositivi realizzati.

Risultati ottenuti. Sono state misurate le caratteristiche ottiche (fotoluminescenza e tempi di vita) di sorgenti di singolo fotone (nanodiamanti luminescenti) accoppiate con metamateriali iperbolici oro/aria basati su copolimeri a blocchi lamellari.

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, nel campo della spettroscopia di assorbimento per applicazioni di gas sensing, nonché per interesse fondamentale sulle proprietà dei campi elettromagnetici all'interno di mezzi nano e micro-strutturati. (Obiettivo in linea con i Focal Point: *Monitoring the environment and supporting the development of clean technologies, Accelerating digital transformation and supporting industrial transitions, Improving the quality and impact of fundamental scientific research*).

Attività svolta. Attività di modeling numerico delle proprietà locali del campo elettromagnetico all'interno di un mezzo poroso tramite infiltrazione di coppie di emettitori separati da nano-distanziatori. I risultati ottenuti hanno guidato la scelta dei materiali e l'interpretazione dei risultati sperimentali ottenuti tramite una collaborazione con il centro IIT CLNS@Sapienza. Attività di modeling delle proprietà ottiche di nanoshell di carbonio ottenute tramite calcinazione in collaborazione con l'Istituto di Tecnologia di Harbin, e usate per ottenere una vernici altamente assorbenti grazie all'azione combinata con lo scattering fornito dai nanoshell vuoti. Attività di sviluppo software open-source per la simulazione dello scattering di luce da elementi discreti disposti all'interno di una geometria a multi-layer, in collaborazione con un team di sviluppatori afferenti a vari istituti.

Risultati ottenuti. I risultati ottenuti nell'ambito di questa attività sono illustrati nell'ambito delle rispettive pubblicazioni scientifiche:

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 foto responsivi.

Attività svolta. La risoluzione della tecnica litografica *two photon direct laser writing* è determinata dai parametri fabbricativi e dal materiale impiegato. L'attività svolta è stata mirata a migliorare la risoluzione della tecnica litografica per materiali custom tramite l'impiego di un controller in temperatura. E' stato dimostrato come in materiali non commerciali con proprietà liquido cristalline sintetizzati nei nostri laboratori si ottengano risoluzioni comparabili con le resine commerciali grazie a celle peltier a temperatura controllata. Questo risultato apre alla realizzazione di strutture fotoniche con risoluzioni al di sotto del limite diffrattivo in materiali foto-responsivi.

Risultati ottenuti. I risultati ottenuti nell'ambito di questa attività sono illustrati in due pubblicazioni scientifiche.

Materiali polimerici non lineari disordinati per crittografia classica

Obiettivi. Studio, realizzazione e caratterizzazione di funzioni fisiche non-clonabili (Physical Unclonable Functions, PUFs) realizzate tramite sistemi disordinati polimerici riconfigurabili per generazione di chiavi crittografiche altamente sicure.

Attività svolta. Sono stati fabbricati e caratterizzati sperimentalmente sistemi fotonici complessi caratterizzati da diversa forza di scattering per determinare come le proprietà ottiche del sistema consentano di massimizzare il contenuto informativo delle risposte ottiche delle PUFs. Parallelamente è stato studiato come la riconfigurazione reversibile e irreversibile di sistemi complessi disordinati foto-responsivi quali i cristalli liquidi

dispersi in polimero consenta di creare PUFs riscrivibili e dotate di un funzionamento a multi-livello. E' stata inoltre investigata la sensibilità e robustezza di PUF ottiche bidimensionali e confrontata con risultati numerici. *Risultati ottenuti.* Realizzazione e analisi del funzionamento di physical unclonable functions multi-livello. Studio del ruolo del disordine nella sicurezza delle chiavi crittografiche estratte. Sistemi con densità ottica maggiore consentono di realizzare chiavi crittografiche con maggior contenuto informativo, più resistenti ad attacchi di apprendimento automatico. Sono in preparazione tre manoscritti.

Sistemi e dispositivi superconduttivi

Obiettivi. Realizzazione di nanostrutture superconduttive mediante litografia a fascio elettronico al fine di studiare fenomeni quantistici potenzialmente interessanti in vari ambiti, dalla metrologia alle tecnologie quantistiche.

Attività svolta. E' stato ottimizzato il processo di litografia a fascio elettronico per la realizzazione di nanostrisce in configurazione di barra Hall per misure a quattro terminali. I campioni con larghezze da 500 a 100 nm sono misurati in collaborazione con l'Università di Camerino e servono a completare e confermare i modelli sviluppati per il crossover dimensionale da 2D a 1D.

Risultati ottenuti. Le nanostrutture realizzate sono state caratterizzate a temperature criogeniche con particolare attenzione alle variazioni della temperatura critica di transizione (T_c), sono state osservate fluttuazioni della resistenza anche al di sotto della T_c che devono essere ancora indagate.

Obiettivi. Geometrizzazione di film superconduttivi di nitruro di niobio per uno studio sistematico su fenomeni di "dimensional crossover".

Attività svolta. E' stato ottimizzato il processo di litografia laser e di dry etching tramite Reactive Ion Etching (RIE) con gas reattivi adatti al materiale in oggetto. Pur non essendo critiche le dimensioni delle microstrisce realizzate, è stata ottimizzata la litografia su campioni di piccole dimensioni. Sulla fase di rimozione del nitruro di niobio in eccesso è stato messo a punto un processo RIE altamente selettivo su diversi substrati (zaffiro, ossido di silicio e ossido di magnesio).

Risultati ottenuti. Sono state ottenute decine di microstrisce con geometria tipo hall bar, con diversi spessori. Le strutture sono state adattate su supporti di rame e collegate a board elettronico per permettere misure in cryocooler con un sistema di controllo di temperatura sui dispositivi. Le prime caratterizzazioni hanno evidenziato la transizione superconduttiva dei film superconduttivi realizzati e rivelato effetti dei diversi substrati sulle proprietà superconduttive stesse.

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. Inoltre, sono stati realizzate strutture in Nb/NbO_x/Au per uno studio preliminare del comportamento di resistive switching. (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*).

Attività svolta. Sono stati realizzati e caratterizzati sistemi elettronici alla nanoscala quali nanofili per la realizzazione di dispositivi elettronici innovativi quali memresistori per l'emulazione di funzionalità sinaptiche. Singoli nanowili sono stati utilizzati 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 (in particolare Reservoir Computing). L'attività sperimentale è stata 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 sono state svolte in collaborazione con il Politecnico di Torino e Politecnico di Milano.

Inoltre, dispositivi memresistivi sono stati utilizzati per lo studio della conduzione elettronica e ionica alla nanoscala e fenomeni di conduttanza quantizzata nell'ambito del progetto EMPIR MEMQuD 20FUN06. A tale scopo, fenomeni di conduzione quantizzata sono stati investigati in singoli nanofili, reti di nanofili e dispositivi memresistivi basati su film sottili.

Inoltre, e' stato ottimizzato il processo di deposizione di un multilayer di Nb/NbO_x/Au mediante DC sputtering in ultra alto vuoto per la realizzazione di dispositivi memresistivi. Sono state effettuate misure preliminari di switching tramite probe station e Keithley 4200.

Risultati ottenuti. I risultati ottenuti nell'ambito di questa attività (anche nell'ambito del progetto EMPIR MEMQuD 20FUN06) sono riportati in diverse pubblicazioni scientifiche.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Brevetti

Obiettivi. Realizzazione di un sistema neuromorfo basato su nanofili.

Attività svolta. E' stato concettualizzato e realizzato un dispositivo basato su nanofili per l'implementazione di un reservoir per una rete neurale. Tale dispositivo è stato utilizzato per l'implementazione del paradigma di computazione denominato "reservoir computing" per il riconoscimento di pattern spaziotemporali e per la previsione di serie temporali.

Risultati ottenuti. Una domanda di brevetto relativa a tale dispositivo è stata presentata (domanda numero 102021000019277, data di presentazione 21/07/2021)

Didattica Universitaria

Obiettivi. Divulgazione scientifica sulle tematiche del Settore.

Attività svolta. Svolgimento presso il DISIT dell'Università del Piemonte Orientale (UPO) del corso di Laboratorio Nanotecnologie (cod MF0427 - Titolari Proff. L. Boarino e C. Sasso) per un totale di 16 ore.

Svolgimento presso il DISAT del Politecnico di Torino del corso di Fisica e Materiali per Tecnologie Avanzate (cod 02MOCOD - Titolare Prof. Giorgis) per un totale di 20 ore. Svolgimento presso il Politecnico di Torino del corso di Esercitazione di Fisica I (cod. 17AXOLZ - Titolare Prof. Samuele Porro).

Risultati ottenuti. Divulgazione sulle tematiche di nanotecnologie e di fisica.

Divulgazione on-line

Obiettivi. Sviluppo e divulgazione di moduli e-learning relativi alla micro e nanofabbricazione.

Attività svolta. Ad agosto 2021 è stato organizzato un webinar di nanofabbricazione dal laboratorio NanoFacility Piemonte con lo strumento Quanta 3D Dual Beam Microscope. Il webinar è stato incentrato sull'utilizzo di nanomanipolatori per la realizzazione di dispositivi a singolo nanofilo sospesi su piattaforme per la caratterizzazione delle proprietà di trasporto termico. Nel webinar si sono discussi gli aspetti pratici relativi alla manipolazione e saldatura di oggetti alla nanoscala preservandone le proprietà ed evitando il danneggiamento indotto dall'utilizzo di fasci ionici focalizzati.

Risultati ottenuti. Il webinar ha consentito la divulgazione delle attività di nanomanipolazione ad altri ricercatori e studenti di dottorato e l'attività di fabbricazione correlata ha consentito di realizzare i dispositivi per una collaborazione con l'Università Autonoma di Barcellona nell'ambito il progetto EMPIR 19ENG05 Nanowires.

Organizzazione di eventi

Obiettivi. Divulgazione scientifica sulle tematiche del settore, dei laboratori e dell'Ente. Attività di *impact* per progetti EMPIR.

Attività svolta.

Co-organizzazione e chairmanship della conferenza *NanoInnovation 2021*, Simposio Progetti EMPIR (*EMPIR toward the Green Deal: Quantum, Energy and Environment*), 21-24 Settembre 2021, La Sapienza, Roma, Italia.

Organizzazione dello *stakeholder meeting* del progetto EMPIR MemQud presso NanoInnovation 2021, Roma. Co-organizzazione e chairmanship del simposio ALTECH 2021 Analytical Techniques for Precise Characterisation of Nanomaterials, con PTB, NPL CEA LNHB.

Risultati ottenuti. Queste iniziative hanno permesso di promuovere le tematiche del Settore nella comunità scientifica e verso il pubblico in generale. Lo *stakeholder meeting* ha visto la partecipazione di 33 persone, di cui 12 Stakeholders appartenenti all'industria e a centri di ricerca europei ed extraeuropei.

Settore ML2 - Campi e sistemi elettromagnetici
Responsabile: Gabriella Crotti

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Agosto Andrea*	3	8	0	0	0	11
Bottauscio Oriano	8	1	1	1	0	11
Crotti Gabriella	5	4	1	0	1	11
Fissore Federico	2	9	0	0	0	11
Giordano Domenico	6,5	1,5	1	0,5	1,5	11
Giusio Valter	1	10	0	0	0	11
Varetto Giorgio	1	10	0	0	0	11
Vizio Giuseppe	1	10	0	0	0	11
Zilberti Luca	9	0	0,5	0,5	1	11
Zucca Mauro	8	1	1	1	0	11
Personale TD						
Arduino Alessandro	10	0	0,5	0,5	0	11
<i>Tot</i>	<i>54,5</i>	<i>54,5</i>	<i>5</i>	<i>3,5</i>	<i>3,5</i>	<i>121</i>
Assegni ricerca						
Martinez Jessica Aurora	8	0	0	0	0	8
Zanovello Umberto	10	1	0	0	0	11
PhDs						
Hassanzadeh Melika	1	0	0	0	0	1
Letizia Palma Sara	11	0	0	0	0	11
Signorino Davide	11	0	0	0	0	11
Personale associato						
Borsoero Michele	0	1,5	0	0	0	1,5
Chiampi Mario	1,5	0	0	0	0	1,5
Pogliano Umberto	1,5	0	0	0	0	1,5
<i>Tot</i>	<i>44</i>	<i>2,5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>46,5</i>
Totale	98,5	57	5	3,5	3,5	167,5

(*) Andrea Agosto assistente SGQ

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Tomografia MR quantitativa

Obiettivi. Sviluppare e caratterizzare algoritmi per Electric Properties Tomography (EPT) basati su scansioni a risonanza magnetica (MRI) (FP: Supporting the quality of life and health).

Attività svolta. Nell'ambito del progetto EMPIR 18HLT05 QUIERO, è stata consolidata la libreria EPTlib. In particolare, le prestazioni degli algoritmi sono state caratterizzate tramite applicazione su dati sintetici e su dati sperimentali raccolti su phantoms simulatori tissutali. Una campagna di misurazioni e caratterizzazione delle proprietà dielettriche dei phantoms ha fornito i dati di riferimento da utilizzare al variare della frequenza e della temperatura. In collaborazione con l'IRCCS Stella Maris (Pisa), è stata sviluppata una nuova tecnica di EPT, che utilizza in input mappature dei tempi di rilassamento magnetici e, grazie alla correlazione con il quantitativo d'acqua, deduce le corrispondenti proprietà dielettriche nei tessuti cerebrali. È stata inoltre avviata una collaborazione con UMC Utrecht per la valutazione dell'incertezza dei metodi di EPT a livello del singolo pixel. In aggiunta, per promuovere gli studi sull'identificazione automatica delle patologie, è stata creata una popolazione di "pazienti virtuali" (alcuni sani, altri con inclusioni anomale nella materia bianca del cervello), i cui dati di EPT sono stati impiegati come biomarcatori. Come attività collaterale, è stato avviato uno studio per verificare la possibilità di effettuare una valutazione di tipo subject-specific per il SAR (specific absorption rate) nel corpo di pazienti sottoposti a MRI.

Risultati ottenuti. Articolo sulla rivista Applied Sciences sulla libreria EPTlib. Rapporti tecnici circa le prestazioni degli algoritmi di EPT e disponibilità di un nuovo metodo di EPT per applicazioni in vivo. Numerose presentazioni inerenti la tomografia quantitativa di cui tre alla conferenza 2021 della International Society for MRI in Medicine - ISMRM, per la quale sono anche stati inviati ed accettati sei nuovi contributi (2022).

Sicurezza nelle applicazioni biomediche dei campi elettromagnetici

Obiettivi. Quantificare i possibili effetti biologici collaterali, di tipo fisico, di tecnologie biomediche basate sull'impiego di campi elettromagnetici (CEM), con particolare riferimento alla diagnostica a risonanza magnetica (MRI) e all'ipertermia magnetica (FP: Supporting the quality of life and health).

Attività svolta. Sulla tematica MRI-safety e rischio correlato, si sono completate le attività relative al progetto EMPIR 17IND01 MIMAS. In questo contesto sono stati quantificati gli effetti di riscaldamento di protesi metalliche dovuti alla combinazione del campo a radiofrequenza (RF) e del campo di gradiente (GC). Si è condotta un'ampia analisi parametrica sui fattori che determinano il riscaldamento di dispositivi impiantati di piccole dimensioni soggetti a campi RF e GC. Si sono studiati gli effetti dell'applicazione della "virtual surgery" sui fenomeni di riscaldamento, quantificando l'effetto dell'uso di modelli digitali avanzati per la MRI.

Nel progetto MIMAS INRiM ha messo a punto una facility sperimentale per la misura del riscaldamento di protesi metalliche realistiche sottoposte a campi magnetici analoghi a una MRI reale. Sulla base dei risultati ottenuti è stata proposta una procedura per la verifica sperimentale del riscaldamento di protesi dovuto al GC. Tale procedura potrebbe essere considerata per l'estensione dell'attuale normativa ISO e la stesura di una eventuale procedura ASTM. Infine, in collaborazione con l'Università di Padova, è stato messo a punto un efficiente strumento di simulazione per analisi anche stocastiche dell'interazione CEM - corpo umano. Questo strumento è stato impiegato per svolgere analisi di *peripheral nerve stimulation* (PNS) per pazienti portatori di protesi ortopediche e sottoposti a MRI. Sul tema ipertermia magnetica si è completato lo studio degli effetti di riscaldamento indesiderati in pazienti portatori di protesi per il trattamento di tumori. Sono state sviluppate metodologie di simulazione *ad hoc* per poter riprodurre gli effetti indotti in strutture filamentari non trattabili in modo diretto all'interno di modelli digitali a voxel.

Risultati ottenuti. Pubblicazione di un articolo sulla rivista Magnetic Resonance in Medicine sul riscaldamento combinato RF e GC in pazienti portatori di protesi dell'anca. Preparazione di due articoli congiunti sull'analisi parametrica dei fattori che determinano il riscaldamento di dispositivi impiantati soggetti a campi MRI (prima parte già pubblicata sulla rivista Physics in Medicine and Biology, la seconda parte attualmente in revisione). Sottomissione di una pubblicazione relativa agli effetti della "virtual surgery" sulla rivista Plos One. Sottomissione di una pubblicazione sulla rivista Magnetic Resonance in Medicine riguardante la proposta di procedura di testing di protesi metalliche sottoposte a GC. Pubblicazione di un articolo sulla rivista Computer Methods and Programs in Biomedicine relativo allo sviluppo di uno strumento di analisi dosimetrica ad elevata efficienza computazionale. Pubblicazione di un articolo sulla rivista Int. J. Hyperthermia relativo agli effetti di riscaldamento indotto in pazienti portatori di protesi e soggetti a trattamenti di ipertermia magnetica. Preparazione di un articolo sul tema del PNS (attualmente in revisione).

Efficienza dei sistemi di trasporto elettrico

Obiettivi. Sviluppo di metodi e sistemi di misura per l'analisi dell'interazione tra veicolo, e stazione di ricarica. Valutazione dell'efficienza nei processi di trasferimento della potenza elettrica per la ricarica induttiva e valutazione della conformità dell'esposizione umana ai CEM. Stima dell'efficienza e ottimizzazione dei processi di scambio dell'energia tra sistema di alimentazione e veicolo ferroviario. Metodologia per il rilievo degli archi elettrici al pantografo di sistemi di trazione in DC. Misura accurata e riferibile dell'efficienza elettrica nei nuovi sistemi di alimentazione ferro-tramviari in DC. (FP: Supporting sustainable energy conversion).

Attività svolta. Nell'ambito del completamento del progetto 16ENG08 MICEV si è effettuata un'analisi del trasferimento di potenza wireless tramite misure e modelli elettromagnetici. Mediante una sintesi dei risultati ottenuti e delle procedure di analisi adottate, è stata redatta una guida per la valutazione della conformità all'esposizione umana di sistemi di trasferimento di potenza per la ricarica induttiva. Il lavoro è stato coordinato da NPL e da INRiM, con la partecipazione di vari partner internazionali. Grazie alle misure condotte nel 2020 nell'ambito del progetto 16ENG04 MyRailS, sono stati sviluppati ed applicati algoritmi per la determinazione dell'energia elettrica dissipata dai reostati di frenatura, nonché il risparmio energetico introdotto da sottostazioni reversibili. Sono stati identificati e catalogati gli eventi elettrici transitori osservati al pantografo di sistemi di trazione ferroviari e tramviari. È stata emulata l'integrazione dell'algoritmo di detecting degli archi elettrici nei dispositivi di misura dell'energia elettrica a bordo treno per scopi fiscali.

Risultati ottenuti. È stata pubblicata la "Best practice guide for the assessment of EMF exposure from vehicle Wireless Power Transfer systems" edita congiuntamente da INRiM e NPL. Pubblicazione di un articolo sulla rivista Measurement sull'impatto energetico prodotto da una sottostazione reversibile a bordo di un convoglio metropolitano. È stata inviata una recommendation al CENELEC/IEC TC9X sull'analisi di possibili architetture e procedure per il monitoraggio diffuso della Power Quality nel contesto ferroviario.

Sistemi magnetostrittivi per l'energy harvesting

Obiettivi. Sviluppo di approcci modellistici e sperimentali per lo studio della risposta di harvesters magnetostrittivi sottoposti a vibrazioni reali (FP: Supporting sustainable energy conversion and clean storage).

Attività svolta. Con l'università di Tampere (FI) si è messo a punto un modello semplificato di un harvester magnetostrittivo utilizzando equazioni costitutive linearizzate. La perdita dovuta alle correnti parassite è inclusa

nel modello. L'approccio è utile quando gli harvesters lavorano, come spesso accade, con vibrazioni di ampiezza limitata. Il modello è stato validato con risultati sperimentali.

Risultati ottenuti. Un articolo è stato sottoposto e successivamente accettato per la pubblicazione sul Journal of Magnetism and Magnetic Materials.

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

Obiettivi. Sistemi e metodi per la caratterizzazione di sensori di tensione e corrente per il monitoraggio della qualità dell'energia elettrica in reti di trasmissione e distribuzione con significativa presenza di fonti di energia rinnovabile (FER) (FP: Supporting sustainable energy conversion and clean storage).

Attività svolta. Nell'ambito del completamento del progetto Future Grid II, è stato messo a punto il sistema per caratterizzazione di trasformatori di tensione con uscita digitale e sono in fase di sperimentazione le relative procedure di misura. Con riferimento al progetto IT4PQ, le capacità del sistema modulare di riferimento per generazione e misura di tensioni sinusoidali e distorte sono state estese alla generazione di subarmoniche, disturbi a bassissima frequenza e serie di disturbi sequenziali o combinati; con prime applicazioni ai dispositivi di misura. Sono stati inoltre messi a punto e sperimentati due metodi semplificati per la stima della risposta in frequenza di trasformatori di misura, basati sull'utilizzo di strumentazione normalmente già disponibile in laboratori di misura e prova.

Risultati ottenuti. Quantificazione dell'effetto della presenza di sub-armoniche sulla misura di armoniche, con pubblicazione di un articolo su IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. Definizione degli errori in frequenza di trasformatori di tensione mediante metodi semplificati con riduzione sino ad un ordine di grandezza dello scarto tra misura effettuata con sistema di misura di riferimento alla tensione di rete e misura ottenuta con procedura e set-up semplificati. Pubblicazione di un articolo sulla rivista Measurement.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Partecipazione a organismi metrologici e reti europee

Obiettivi. Consolidare la partecipazione alle reti metrologiche europee (EMN) di riferimento Mathematics and Statistics (MATHMET) and Smart Electricity Grids (SEG) e ai comitati EURAMET di riferimento.

Attività svolta. Partecipazione ai JNP per lo sviluppo delle due reti con contributo specifico relativo alle attività di Knowledge transfer e training del JNP SEG-net. Contributo alle attività del TC IM (Interdisciplinary Metrology) e al SC Power&Energy del TC EM.

Risultati ottenuti. Avanzamento nel censimento degli stakeholders e nello sviluppo della strategic research agenda della EMN MATHMET; aggiornamento dell'attività di KT della EMN SEG e definizione di speakers e programma del corso di eccellenza sul tema Measurements and Metrology for Smart Electrical Grids. Presentazione delle attività di IT4PQ alla riunione annuale del SC Power&Energy.

Partecipazione a organismi metrologici e tecnici

Obiettivi. Partecipazione al comitato CEI 106, Gruppo di lavoro (GdL) sul wireless power transfer (WPT) e GdL Revisione Guida 211. Partecipazione al comitato IEC TC9 MT62888 e al CIGRÉ WG A3.45 sui metodi per l'identificazione della risposta in frequenza di sistemi di misura di tensione e al comitato TC 38 Instrument transformers e relativi working groups (WGs).

Attività svolta. Redazione di una prima bozza di Technical Report (TR) sul WPT con contributo particolare al WPT per i veicoli elettrici. Redazione di un Allegato informativo sulla determinazione dell'incertezza di misura della potenza a bordo veicolo da inserire nella norma IEC 62888. Supporto alla disseminazione e allo sfruttamento dei risultati dei progetti di ricerca MyRailS e IT4PQ mediante presentazioni all'IEC TC 38 AG CAG e WG47. Contributo ai lavori dei comitati tecnici IEC e CEN come ricaduta delle tematiche di ricerca.

Risultati ottenuti. Bozza del TR del CEI sul WPT. Il working group MT62888 ha analizzato e discusso il documento sottoposto ed ha stabilito che l'allegato in questione sarà inserito nella parte 6 della norma IEC 62888. Presentazione delle attività e dei primi risultati del progetto IT4PQ alla General Session dell'IEC TC 38 e al concomitante Workshop e alla General Session del CLC TC 38.

Sviluppo e mantenimento di campioni e CMC

Obiettivi. Definizione di nuova capacità di taratura per la misura della potenza DC in applicazioni ferroviarie.

Attività svolta. Redazione della procedura per la taratura di catene di misura di potenza ed energia (EMF) e di trasduttori combinati di tensione e corrente per applicazioni ferroviarie in DC.

Risultati ottenuti. Emissione della procedura PT-EM.9.0-01.

Partecipazione a confronti di misura internazionali

Obiettivi. Validazione e miglioramento delle CMC nei settori di competenza.

Attività svolta. Contributo alle attività preliminari dei confronti di misura EURAMET.EM.S36 Comparison of partial discharge (PD) calibrators from 0.1 pC to 10 nC e EURAMET.EM.RF-S46 “Comparison of magnetic field strength measurements for frequencies up to 30 MHz”.

Risultati ottenuti. Definizione dei protocolli di misura. Misure previste in INRiM nel 2021 e 2022.

Disseminazione e organizzazione di confronti interlaboratorio

Obiettivi. Fornire riferibilità metrologica a laboratori di taratura, misura e prova operanti nel campo delle misure elettriche ed elettromagnetiche di interesse per i sistemi di potenza.

Attività svolta. È proseguita l'attività di disseminazione per le grandezze campi elettrici, magnetici ed EM, alte tensioni DC e AC, rapporto di forti correnti AC, così come l'estesa attività di revisione delle procedure tecniche. Sono state inoltre effettuate le misure relative a un ILC nazionale per le grandezze forti correnti alternate.

Risultati ottenuti. Revisione di 16 procedure di taratura ed emissione di circa 190 certificati di taratura. Organizzazione e svolgimento di n. 1 ILC.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Open data, brevetti e contratti industriali

Obiettivi. Contratto industriale con Selta Digital Platforms Group's BU per lo studio dei supporti di bobine di sbarramento. Procedure di caratterizzazione di concentratori di segnali per reti elettriche di media tensione. Trasferimento al mondo industriale operante nel contesto ferroviario della metodologia per il rilievo di disturbi in sistemi di trazione DC

Attività svolta. Nell'ambito del contratto industriale con Selta, si è progettata una struttura di supporto a bassissima perdita per bobine di sbarramento per impianti di alta tensione. Nell'ambito del contratto industriale stipulato con RSE, sono stati determinati gli errori di rapporto e d'angolo dei diversi ingressi di tensione e corrente del concentratore di segnali (Stand Alone Merging Unit). È stata redatta la documentazione utile alla sottomissione di un brevetto internazionale PCT “Procedimento per rilevare un arco elettrico che occorre fra una linea aerea di contatto ferroviaria e un'unità di trazione ferroviaria e corrispondente disposizione di rilevamento”. È stata inoltre messa a punto una “Call for expression of interest” finalizzata all'individuazione di un soggetto privato per lo sfruttamento del brevetto in oggetto.

Risultati ottenuti. Progetto di una struttura di supporto per bobine di sbarramento a perdita contenuta. Sottomissione del brevetto internazionale PCT WO2021/250542; individuazione di un soggetto interessato allo sfruttamento del brevetto in oggetto.

Didattica universitaria e formazione

Obiettivi. Formazione relativa alle tematiche di dosimetria elettromagnetica e della tomografia a risonanza magnetica quantitativa e dell'elettromagnetismo. Formazione relativa ai sistemi elettrici per l'energia.

Attività svolta. Svolgimento del corso “Electromagnetic dosimetry in MRI: computational and experimental methods” presso la Scuola di Dottorato del Politecnico di Torino. Il corso è stato esteso a specializzandi in Fisica Medica a livello nazionale e a Fisici Medici operanti in strutture ospedaliere.

Svolgimento di lezioni di dosimetria elettromagnetica e MRI quantitativa per gli specializzandi in fisica sanitaria dell'Università di Torino e per gli allievi di Ing. Elettrica dell'Università di Padova. Tutoraggio di 3 dottorati in Metrologia riguardanti i sistemi per misure riferibili di energia e qualità della potenza in ambiente ferroviario e riguardanti i sistemi di riferimento per la verifica di sensori di misura per reti in media tensione.

Risultati ottenuti. Divulgazione sulla tematica della dosimetria elettromagnetica e della “quantitative MRI” e tutoraggi in merito ad attività di dottorato nell'ambito dei sistemi elettrici per l'energia.

Organizzazione di eventi e divulgazione

Obiettivi. Divulgare la cultura tecnico-scientifica sui temi del Settore.

Attività svolta. Svolgimento di presentazioni nel corso del World Metrology Day 2021 (dedicato al tema Health) e di altri seminari (su dosimetria elettromagnetica e tomografia quantitativa). Partecipazione alla conferenza nazionale Ambiente e Lavoro. Organizzazione e conduzione dell'evento finale dei progetti 16ENG04 MyRailS e 16ENG08 MICEV. Organizzazione del primo Stakeholder Workshop nell'ambito del progetto IT4PQ.

Risultati ottenuti. Promozione, verso la comunità scientifica ed il pubblico in generale, delle attività svolte nel Settore. Contributo al periodico Dossier Ambiente (n.136) sul tema della ricarica induttiva. Il video dell'evento conclusivo del progetto MyRailS ha totalizzato circa 900 visualizzazioni e quello del progetto MICEV quasi 400. Promozione delle attività del progetto IT4PQ nell'ambito delle comunità scientifica di riferimento.

Settore ML3 - Acustica e Ultrasuoni
Responsabile: Giovanni Durando

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Corallo Mario	1	9	1	0	0	11
Durando Giovanni	6	2	1	0,5	1,5	11
Personale TD						
Saba Fabio	3	7	1	0	0	11
<i>Tot</i>	10	18	3	0,5	1,5	33
Personale associato						
Agostino Antonio	0	5	0	0	0	5
<i>Tot</i>	0	5	0	0	0	5
Totale	10	23	3	0,5	1,5	38

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Acustica in Aria

Obiettivi.

Sviluppo di sistemi e metodi di misura per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici MEMS di nuova generazione.

Attività svolta.

Progettazione di un sistema di misura per la caratterizzazione e la taratura di trasduttori acustici MEMS mediante i metodi di confronto e reciprocità. Il set-up di misura è tale da assicurare una verifica puntuale delle caratteristiche di tali dispositivi nella gamma di frequenze 20 Hz - 20 kHz. Grazie alla realizzazione di un adattatore che consente l'accoppiamento meccanico con gli attuali sistemi di taratura per i microfoni di tipo LS2, è possibile sfruttare gli strumenti e i SW utilizzati per la taratura dei microfoni a condensatore.

Risultati ottenuti.

Partecipazione alle fasi organizzative iniziali di un confronto internazionale pilota con gli istituti metrologici Canadese (NRC) e Sud Coreano (KRISS), mirato alla validazione di un metodo ottico primario, sviluppato da KRISS e NRC, per la taratura di microfoni MEMS in campo libero nel campo di frequenza da 630 Hz a 16 kHz. Il confronto avrà inizio a marzo 2022.

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 (IRCCS 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*).

Attività svolta.

Realizzazione e caratterizzazione di sistemi d'insonazione basati su:

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

Risultati ottenuti.

Pubblicazioni su riviste ad alto impatto:

- Sonodynamic Therapy for the Treatment of Intracranial Gliomas (<https://doi.org/10.3390/jcm10051101>);
- 5-Aminolevulinic Acid Triggered by Ultrasound Halts Tumor Proliferation in a Syngeneic Model of Breast Cancer (<https://doi.org/10.3390/ph14100972>);
- Sonodynamic treatment induces selective killing of cancer cells in an in vitro co-culture model (<https://doi.org/10.3390/cancers13153852>).

Coordinamento progetto di ricerca internazionale:

- EURAMET EMPIR 18HLT06 RaCHy "Radiotherapy coupled with Hyperthermia" (<https://rachy-project.eu>).

Presentazione di progetto di ricerca in ambito internazionale:

- Call CURE Epilepsy, titolo Ultrasound-mediated neuromodulation in an in vitro brain preparation: a potential cure for focal seizures.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Obiettivi.

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

Attività svolta.

Al fine di aumentare la platea dei potenziali interessati ai lavori normativi del comitato CEI CT 29/87 "Elettroacustica e Ultrasuoni" è stata organizzata un workshop (in modalità telematica gestito dal CEI), rivolto ad aziende che operano, a vario titolo, nell'ambito delle misurazioni acustiche.

- Confronto ILC AUV-01/2021 riguardante la misura di livello di pressione sonora, cui hanno partecipato tutti i 12 laboratori di taratura accreditati in Italia da ACCREDIA
- Confronto bilaterale ILC AUV-02/2021 sulla taratura di un fonometro, organizzato su richiesta del centro LAT 051 Trescal S.r.l

Risultati ottenuti.

Coordinamento proposta EURAMET EMPIR 18HLT06-RaCHy "Radiotherapy coupled with Hyperthermia" nel periodo 2019-2022.

Referaggio norme IEC e CEI in ambito acustico e ultrasonoro.

- Relazioni finali per i 12 laboratori partecipanti al confronto ILC AUV-01/2021 (Relazioni N. 21-0270-01÷12)
- Relazione finale per il laboratorio partecipante al confronto ILC AUV-02/2021 (Relazione N. 21-0301-03)

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi.

Tra le finalità del progetto RaCHy si segnala lo sviluppo di metodi di termometria, basati su US, per misure di temperatura che vanno da 37 ° C a 50 ° C, *in vitro* e *in vivo*.

Sviluppo delle tecnologie necessarie alla realizzazione di un casco stereotassico, dotato di movimentazione servoassistita, attrezzato con trasduttore ultrasonoro per terapia e imaging, per attività neuromodulatorie.

Miglioramento dei metodi di qualificazione di camere semi-anecoiche alla luce delle novità introdotte dalla norma di riferimento UNI ISO 26101:2017. Automatizzazione dei processi di misura ed elaborazione dati.

Attività svolta.

Sviluppo di nuove metodologie sia sperimentali che teoriche nel campo degli ultrasuoni in ambito biomedico, al fine di massimizzare l'efficacia dei trattamenti legati all'ipertermia strettamente connessi alla definizione dei profili di temperatura spaziale e temporale.

Tra le finalità del progetto RaCHy si segnala lo sviluppo di metodi di termometria, basati su US, per misure di temperatura che vanno da 37 ° C a 50 ° C, *in vitro* e *in vivo*. La dipendenza dalla temperatura delle proprietà acustiche potrà essere sfruttata, mediante appositi algoritmi, al fine di consentire la determinazione dell'innalzamento di temperatura negli strati di tessuto non superficiale consentendo, tra l'altro, la misura anche in presenza di movimento o deformazione del tessuto, causato da cicli respiratori.

Sviluppo della tecnologia e della documentazione necessaria al deposito di un brevetto relativi ad un casco stereotassico attrezzato con trasduttore ultrasonoro.

Realizzazione di un sistema automatico per la qualificazione di camere semi-anecoiche secondo la norma UNI ISO 26101:2017. Il sistema consente la movimentazione ed il posizionamento automatico del microfono di misura nei punti di rilevazione stabiliti dalla norma, l'acquisizione e l'analisi delle misure.

Risultati ottenuti.

In collaborazione con NPL sono state sviluppate tecniche tali da consentire la predizione della deposizione di energia e dei profili di temperatura all'interno di colture biologiche durante i cicli d'ipertermia mediati da ultrasuoni.

Deposito brevetto nazionale in collaborazione con IRCCS Istituto Neurologico Carlo Besta: Dispositivo stereotassico indossabile da un paziente per neuromodulazione ad ultrasuoni focalizzati a bassa intensità;

Qualificazione della camera semi-anecoica del Consorzio Studi e Ricerche CSR S.r.l. della ditta SCM Group S.p.A, situata presso Rimini.

Settore ML4 – Scienze e tecnologie biomediche
Responsabile: Alessandra Manzin

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
D'Agostino Giancarlo	6	4	0	0,5	0,5	11
Divieto Carla	4	5	0,5	1	0,5	11
Lapini Andrea ¹	2	0	0	0	0	2
Manzin Alessandra	7,5	0,5	0	1	2	11
Martella Daniele	10	0	0	1	0	11
Mortati Leonardo	10	0,5	0	0,5	0	11
Pegoraro Mattia	3	7	0,5	0,5	0	11
Revel Laura	3	7	0,5	0,5	0	11
Santiano Marco ²	0	1	0	0	0	1
Troia Adriano	8,5	0,5	0,5	1	0,5	11
Zucco Massimo ³	3	0	0	0	0	3
<i>Tot</i>	57	25,5	2	6	3,5	94
Assegni ricerca						
Di Luzio Marco	6	4,5	0	0,5	0	11
Ferrero Riccardo	10,5	0	0	0,5	0	11
PhDs						
Galati Simone	8,5	0	0	0,5	0	9
Paoletti Camilla	3	0	0	0	0	3
Vassallo Marta	8,5	0	0	0,5	0	9
Vicentini Marta	8,5	0	0	0,5	0	9
Personale associato						
Lapini Andrea	1	0	0	0	0	1
Oddone Massimo	1	0	0	0	0	1
Torre Renato	1	0	0	0	0	1
<i>Tot</i>	48	4,5	0	2,5	0	55
Totale	105	30	2	8,5	3,5	149

¹A partire da marzo 2021 ricercatore TD presso UNIPR e associato all'INRIM.

²Svolge attività equivalenti a 1 mese in AE1 e 9 mesi in AE2.

³Svolge attività equivalenti a 8 mesi in AE2.

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Nanomateriali e dispositivi per applicazioni terapeutiche e diagnostiche

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

Attività svolta. 1) Ipertermia: Nell'ambito del progetto EMPIR RaCHy, in collaborazione con l'*Erasmus Medical Center* di Rotterdam, è stato realizzato e caratterizzato su *phantom* un applicatore a radiofrequenza (RF), per ipertermia elettromagnetica (EM). L'applicatore RF ha dimostrato ottime prestazioni in termini di riscaldamento anche su colture cellulari 3D. Si è inoltre proseguita l'analisi modellistica di nanoparticelle magnetiche, analizzando l'influenza di forma, dimensioni e concentrazione sulle proprietà di ipertermia. Per la valutazione della relativa efficacia terapeutica sono stati realizzati codici di calcolo *in silico*, in grado di determinare la potenza depositata e l'incremento di temperatura indotto in modelli computazionali animali ad alta risoluzione. Sono state preparate e caratterizzate, in collaborazione con ML5, nanoparticelle in magnetite e ferrite di cobalto, mediante tecniche di coprecipitazione in ambiente basico. Si è dimostrato come l'utilizzo di *coating* superficiali biocompatibili (e.g. citrato di sodio) possa aumentare la stabilità delle formulazioni colloidali e la

migliore dispersione delle nanoparticelle, consentendo un miglioramento delle proprietà di ipertermia. 2) Drug delivery: È proseguito lo studio di *nanodroplet* a base di perfluorocarburi con azione antimicrobica, investigando i meccanismi di attivazione in set-up sperimentali di microfluidica, tramite l'acquisizione di video ad alta velocità. In collaborazione con il DISAT (POLITO), si è realizzato un set-up sperimentale per l'analisi dell'emissione luminosa da cavitazione indotta da ultrasuoni nelle colture cellulari. Sono stati inoltre effettuati esperimenti sull'azione di nanocristalli in ZnO nell'attivazione del segnale di sono-luminescenza.

Risultati ottenuti. 1) Ipertermia: Realizzazione e caratterizzazione di un applicatore RF per ipertermia EM. Sintesi, funzionalizzazione, caratterizzazione e modellizzazione di nanoparticelle per ipertermia magnetica e valutazione del riscaldamento indotto nei tessuti attraverso simulazioni in modelli murini. 2) Drug delivery: Set-up sperimentale per l'analisi dell'emissione luminosa indotta da cavitazione acustica nelle colture cellulari.

Materiali simulatori tissutali e *digital twin* per la diagnostica MRI

Obiettivi. Sviluppo di 1) materiali simulatori tissutali e *phantom*, e 2) *digital twin* a supporto di metodi diagnostici di tipo quantitativo basati su *imaging* a risonanza magnetica (MRI) (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Attività svolta. 1) Materiali simulatori tissutali e *phantom*: Nel progetto EMPIR QUIERO, al fine di sviluppare tecniche di *imaging* avanzate, quali il *Magnetic Resonance Fingerprinting* e l'*Electrical Properties Tomography*, sono state definite le composizioni per diversi *phantom*, omogenei ed eterogenei, in grado di simulare i tempi di rilassamento (T1 e T2) e le proprietà elettriche dei tessuti cerebrali. Le proprietà elettriche sono state misurate in INRiM grazie alla collaborazione con ML2. I *phantom* antropomorfi, realizzati tramite stampi a base di silicone e cryogel, sono stati caratterizzati in diversi scanner MRI per applicazioni cliniche e precliniche, mostrando una buona stabilità temporale delle proprietà di rilassamento. 2) *Digital twin*: Nel progetto EMPIR iMet-MRI è stato implementato un simulatore MRI basato sulle equazioni di Bloch. Dopo la fase di validazione per confronto con soluzioni analitiche, il simulatore è stato utilizzato per generare immagini digitali di materiali di riferimento e *phantom* caratterizzati all'interno del consorzio. Lo scopo è la realizzazione di un database digitale, che possa essere impiegato per migliorare l'affidabilità in ambito MRI nella quantificazione di biomarcatori, come il livello di lipidi e ferro nei tessuti.

Risultati ottenuti. 1) Materiali simulatori tissutali e *phantom*: Messa a punto di un sistema di estrusione per 3D bio-printing. *Phantom* antropomorfi con strutture *brain-like*; *phantom* geometrici omogenei ed eterogenei per la valutazione della stabilità delle proprietà elettriche e di rilassamento. 2) *Digital twin*: Sviluppo e validazione di un simulatore MRI; ricostruzioni digitali preliminari di immagini di materiali di riferimento e *phantom*.

Biomateriali per la medicina rigenerativa

Obiettivi. Realizzazione e caratterizzazione di *scaffold* e biomateriali per la medicina rigenerativa (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Attività svolta. Nel corso del progetto ERC-BIORECAR, coordinato dal DIMEAS (POLITO), sono stati caratterizzati, tramite *digital PCR* e tecniche di microscopia, i processi di riprogrammazione di fibroblasti in cardiomiociti, mediati da microRNA e coadiuvati da biomatrici e *scaffold* 3D di idrogel di fibrina. Sono state acquisite immagini 3D della proliferazione cellulare in *scaffold* per la rigenerazione del tessuto cardiaco, tramite microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF. Nel progetto CRT Visco3DCell, sono stati sviluppati dei metodi di misura di *force spectroscopy* mediante microscopia AFM, per la caratterizzazione in termini di elasticità locale di *scaffold* polimerici per la riparazione tissutale. Sono stati inoltre sviluppati metodi di preparazione basati su *self-assembly* di superfici nanostrutturate di polimeri liquido-cristallini per favorire l'allineamento cellulare (mediante "*cell contact guidance*"). Gli *scaffold* di elastomeri liquido-cristallini così ottenuti sono stati testati in termini di biocompatibilità e induzione della crescita cellulare, in funzione delle relative proprietà meccaniche e microstrutturali. In collaborazione con l'IRCCS Istituto Ortopedico Galeazzi di Milano sono proseguiti gli esperimenti in *time-lapse* per lo studio della dinamica di *uptake* cellulare di vescicole extracellulari con funzione antinfiammatoria e rigenerativa del tessuto cartilagineo. Lo studio è stato eseguito su tessuti umani e bioingegnerizzati utilizzando le tecniche di microscopia CARS-SHG-TPEF. Sono stati inoltre sviluppati algoritmi di analisi delle immagini per la valutazione della profondità di penetrazione delle nanovesicole, dell'area e del volume occupati e della loro colocalizzazione rispetto ai tessuti e alle cellule.

Risultati ottenuti. Verifica del miglioramento dei processi di riprogrammazione di fibroblasti in cardiomiociti, grazie all'uso di ambienti di coltura 3D biomimetici. Analisi dei processi di proliferazione cellulare in *scaffold* di elastomeri liquido-cristallini e della biocompatibilità. Valutazione della cinetica di assorbimento in tessuti cartilaginei di nanovesicole extracellulari, con microscopia CARS-SHG-TPEF in *time-lapse*.

Misura di biomarcatori

Obiettivi. Sviluppo di metodi per la quantificazione di 1) biomarcatori molecolari/cellulari tramite la tecnica *digital PCR* e 2) indicatori di stati patologici tramite l'analisi per attivazione neutronica strumentale (INAA) (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Attività svolta. 1) Misura di biomarcatori tramite *digital PCR*: Si è ottimizzato il metodo di analisi, sviluppato presso l'INRiM, per la misura di copie del virus SARS-CoV-2; è stato sviluppato un metodo per la

quantificazione di variazioni del numero di copie e del rapporto tra i geni HER2/RPPH1, come biomarcatori del tumore al seno; sono stati eseguiti test per l'ottimizzazione dei protocolli di estrazione di RNA da cellule in adesione. 2) Caratterizzazione di stati patologici tramite INAA: Sono stati elaborati i dati sperimentali ottenuti nella misura di cobalto accumulato nei capelli di 30 pazienti dell'Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna, portatori di protesi metallica di tipo Metal-on-Metal (MoM).

Risultati ottenuti. 1) Misura di biomarcatori tramite digital PCR: Ottimizzazione e validazione su materiali di riferimento del metodo per la diagnosi accurata del virus SARS-CoV-2; sviluppo di un protocollo per la quantificazione di HER2/RPPH1; ottimizzazione preliminare dei metodi di estrazione di RNA da cellule adese. 2) Caratterizzazione di stati patologici tramite INAA: Validazione dei risultati ottenuti, attraverso la correlazione dei valori di cobalto rilevato nei capelli e misurato nel sangue.

Tecniche di microscopia

Obiettivi. Ottimizzazione di tecniche di microscopia per applicazione su sistemi biologici e materiali basate su 1) microscopia ottica non-lineare CARS-SHG-TPEF e 2) microscopia a forza atomica (AFM) (Obiettivi in linea con il Focal Point *Supporting the quality of life and health*).

Attività svolta. 1) CARS-SHG-TPEF: Si è sviluppata la tecnica CARS in eterodina tramite modulazione ottica dei segnali di eccitazione. Si sono implementati algoritmi per l'elaborazione di immagini 3D e la creazione di un'immagine macro, a partire da diverse acquisizioni 3D ottenute in modo automatizzato. Sono stati sviluppati algoritmi genetici di *clustering* a partire da dati multivariati e immagini iperspettrali, al fine di discriminare oggetti con caratteristiche dimensionali o chimiche simili. Sono stati effettuati esperimenti preliminari in *time-lapse* di uptake cellulare di microplastiche tramite microscopia ottica non-lineare CARS. 2) AFM: Sono stati sviluppati metodi per la caratterizzazione del modulo elastico di materiali per applicazioni biomedicali tramite *force spectroscopy* e si è valutato l'uso del polidimetilsilossano (PDMS) come materiale di riferimento per la taratura.

Risultati ottenuti. 1) CARS-SHG-TPEF: Implementazione della tecnica CARS in eterodina propedeutica alla realizzazione della tecnica *Stimulated Raman Scattering* (SRS). Acquisizione automatica 3D in alta risoluzione di ampie porzioni di campioni, con possibilità di ottenere un'unica immagine macro 3D in esperimenti in *time-lapse*. 2) AFM: Misurazione del modulo elastico del PDMS a diverse elasticità tramite *force spectroscopy*.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Svolgimento di confronti internazionali e interlaboratorio

Obiettivi. Partecipazione a confronti internazionali organizzati negli ambiti 1) del "*Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology*" (CCQM) del BIPM, e 2) dell'*International Atomic Energy Agency* (IAEA).

Attività svolta. 1) CCQM: Partecipazione a confronti internazionali organizzati dai *Working Group "Nucleic Acid Analysis"* (NAWG) e "*Cell Analysis*" (CAWG), rispettivamente sulla misura, tramite *digital PCR*, di biomarcatori tumorali (BRAF/EGFR, HER2) e sul conteggio di cellule (monociti, linfociti) e di materiali di riferimento (*bead*), tramite microscopia ottica. 2) IAEA: Elaborazione, mediante il software k0-INRiM, di dati sperimentali acquisiti presso lo Jožef Stefan Institute in Slovenia, nell'ambito di un confronto internazionale organizzato dall'IAEA, per la validazione di software utilizzati nelle misure INAA con il metodo di standardizzazione k0.

Risultati ottenuti. 1) CCQM: Chiusura del confronto internazionale CCQM-NAWG-P184 "*Copy number concentration and fractional abundance of a mutation (SNV or INDEL) mixed with wild-type DNA*" (final report); partecipazione e sottomissione dei risultati, in linea con i valori di riferimento, del confronto CCQM-CAWG-P217 "*Enumeration of fixed peripheral blood mononuclear cells in suspension*" e della Key Comparison CCQM-NAWG-K176 "*Breast cancer biomarker HER2 copy number variation (CNV) measurement*". 2) IAEA: Sviluppo e validazione del software k0-INRiM.

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 operanti negli ambiti 1) del BIPM e 3) dell'*American Society for Testing and Materials*" (ASTM).

Attività svolta. 1) BIPM: Sviluppo, nell'ambito del *Working Group "Isotope Ratios"* (IRWG) del CCQM, di metodi per la misura del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$ tramite INAA. Partecipazione al 13th meeting del "*Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration*" (CCAUV). 2) ASTM: Revisione e pubblicazione di due guide per applicazioni nella medicina rigenerativa, proposte rispettivamente dai sottocomitati F04.42 "*Biomaterials and Biomolecules for TEMPs*" e F04.43 "*Cells and Tissue Engineered Constructs for TEMPs*".

Risultati ottenuti. 1) BIPM: Rideterminazione del rapporto isotopico $^{121}\text{Sb}/^{123}\text{Sb}$, attraverso una metodologia basata su INAA e validata metrologicamente in collaborazione con il NIST. 2) ASTM: Pubblicazione della guida ASTM F3504-21 "*Standard Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D Scaffolds by a Nondestructive Method*" e aggiornamento della guida ASTM F2997-21 "*Standard Practice for Quantification of Calcium Deposits in Osteogenic Culture of Progenitor Cells Using Fluorescent Image Analysis*".

Attività di networking tra NMI

Obiettivi. Attività nell'ambito delle reti *European Metrology Network* (EMN), all'interno di EURAMET.

Attività svolta. Consolidamento delle reti EMN 1) TraceLabMed e 2) Mathmet, attraverso la realizzazione delle attività previste nei relativi progetti (JNP 18NET02 e JNP18NET05).

Risultati ottenuti. 1) EMN TraceLabMed: Preparazione di questionari rivolti ad attori attivi nel controllo qualità nel settore dei dispositivi medico-diagnostici *in vitro* (IVD), e supporto all'organizzazione di confronti inter-laboratorio che rispondano alla normativa UE 2017/746 in termini di riferibilità dei dispositivi per IVD. 2) EMN Mathmet: Contributo alla redazione di una prima bozza di agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca negli ambiti della modellistica computazionale, dell'analisi dati e dell'intelligenza artificiale.

Supporto all'accreditamento

Obiettivi. Supporto ad ACCREDIA nel campo dei materiali biologici di riferimento per le biobanche.

Attività svolta. Nell'ambito della convenzione con ACCREDIA, si è fornito supporto all'accreditamento delle biobanche, in conformità con la recente norma UNI ISO 20387.

Risultati ottenuti. Seminario nel workshop organizzato da ACCREDIA "Salute e Materiali di Riferimento", dal titolo "La qualità delle misurazioni per la diagnosi di Covid-19".

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Attività rivolta al trasferimento tecnologico, consulenze e servizi tecnico/professionali

Obiettivi. Contratti e consulenze industriali nei campi biomedicale e sanitario.

Attività svolta. Nell'ambito delle competenze in biometrologia, si è effettuato un servizio di consulenza e misura per l'azienda ELITech, che sviluppa kit per diagnostica *in vitro*. Nello specifico, è stato quantificato tramite *digital PCR* un materiale di riferimento WHO, utilizzato per la validazione di kit diagnostici per il Covid-19 basati su tecniche di *real time PCR*. Nell'ambito delle attività di sviluppo di materiali simulatori tissutali per la diagnostica MRI, si è formalizzata una potenziale collaborazione con l'azienda Siemens, sullo sviluppo di *phantom* antropomorfi per la simulazione dei tessuti cerebrali.

Risultati ottenuti. Servizio di misura per l'azienda ELITech, per la validazione di kit diagnostici per il Covid-19. Sigla di un Nda tra INRiM e Siemens, sullo sviluppo di materiali di riferimento per la diagnostica MRI.

Didattica universitaria e formazione

Obiettivi e Attività svolta. Formazione di studenti di III, II e I livello, e addestramento alla ricerca su temi relativi allo sviluppo di metodi di analisi e tecnologie per applicazioni nei campi biomedicale, metrologico, modellistico e della scienza dei materiali.

Risultati ottenuti. Tutoraggio di 4 dottorandi (POLITO), 3 studenti di I livello in Scienze dei Materiali (UNITO), e 1 studente di II livello in Scienze Chimiche (UNIFI). Svolgimento di lezioni (10 h) ed esercitazioni (4 h) nel corso di II livello "Radiochimica" (UNIPV).

Divulgazione scientifica

Obiettivi e Attività svolta. Attività di divulgazione nei campi biomedicale, metrologico, modellistico e della scienza dei materiali attraverso 1) la partecipazione a eventi finalizzati alla disseminazione, 2) l'organizzazione di sessioni speciali all'interno di conferenze e workshop e 3) l'attività editoriale per riviste scientifiche.

Risultati ottenuti. 1) Disseminazione: Partecipazione alle iniziative della Giornata Mondiale della Metrologia con contributi sulla misura di SARS-CoV-2, lo studio di materiali per applicazioni biomedicali, quali l'ipertermia magnetica, il *drug delivery* e la medicina rigenerativa, e la misura di metalli accumulati nei capelli di pazienti portatori di protesi. Partecipazione alla Notte Europea dei Ricercatori con uno stand dedicato ai materiali per la salute (nanoparticelle per applicazioni terapeutiche, *scaffold* per medicina rigenerativa, materiali simulatori tissutali) e con un seminario divulgativo dal titolo "Verso nuove cure con i materiali intelligenti". 2) Sessioni speciali in conferenze: Organizzazione di due sessioni speciali nell'ambito del workshop "Mathematical and Statistical Methods for Metrology" MSMM 2021. 3) Attività editoriale: Attività di Guest Editor per le Special Issue "Magnetic Nanomaterials and Nanostructures" e "New Insights into Photochromic Compounds", rispettivamente delle riviste *Nanomaterials* e *Molecules*.

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

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza socio-culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Ansalone						
Domenico Patrizio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Appino Carlo	10,50	0,00	0,00	0,50	0,00	11
Barrera Gabriele	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	5,5
Basso Vittorio	7,00	3,00	0,00	0,00	1,00	11
Beatrice Cinzia	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	11
Celegato Federica	10,50	0,00	0,00	0,50	0,00	11
Coisson Marco**	9,50	0,00	0,50	0,00	1,00	11
Durin Gianfranco	8,00	0,00	0,00	1,00	2,00	11
Ferrara Enzo*	8,00	0,50	1,00	0,50	1,00	11
Kuepferling Michaela	9,00	0,00	0,00	1,00	1,00	11
Magni Alessandro	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Martino Luca Ugo	9	0,00	1,00	1	0,00	11
Olivetti Elena Sonia	8,00	1,00	0,00	2,00	0,00	11
Pasquale Massimo	3	6	1,00	0,00	1,00	11
Rocchino Luciano	3,00	8,00	0,00	0,00	0,00	11
Sola Alessandro	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Tiberto Paola	6,00	1,00	0,00	0,00	4,00	11
Toso Luca	0,00	9,00	2,00	0,00	0,00	11
<i>Tot</i>	<i>140</i>	<i>29,5</i>	<i>5,5</i>	<i>6,5</i>	<i>11</i>	<i>192,5</i>
Assegni ricerca						
Di Pietro Adriano	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Pradhan Gajanan	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Silvani Raffaele	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
PhDs						
Lamberti Davide	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4
Ma Qitian	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Personale associato						
Allia Paolo	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
Fiorillo Fausto	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3
Vinai Franco	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5
<i>Tot</i>	<i>44,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>44,5</i>
Totale	184,5	29,5	5,5	6,5	11	237

*RLS

** ASPP

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Magnetismo nei materiali allo stato solido

Obiettivi. Descrizione 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*).

Attività svolta. **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 di energia 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 magnetostriazione in film sottili tramite microscopia con sonda a scansione (AFM); **6)** E' stato sviluppato un sistema microscopico magneto-ottico per osservare le dinamiche di variazione dei domini magnetici in un ampio campo di frequenze. Il suo utilizzo permette 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, misure di ipertermia e approcci di machine learning.

Risultati ottenuti. 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 internazionali 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*).

Attività svolta **1)** Preparazione di nanostrutture e di film sottili ottenuti da deposizione fisica da vapore e nanolitografia (convenzionale e self-assembly) o de-alligazione per applicazioni in catalisi, biomedicina, per studio di spin waves, di spin-Seebeck, e per la magneto-meccanica. **2)** funzionalizzazione di nanoparticelle magnetiche per applicazioni in campo biomedico (collaborazione con ML4); **3)** preparazione e caratterizzazione di leghe magnetiche in forma massiva, con differenti proprietà funzionali (dure, magnetocaloriche, magnetostrittive, termoelettriche) tramite tecniche di solidificazione rapida e metallurgia delle polveri; **4)** studio della tecnica sonochimica come mezzo di idrogenazione di leghe metalliche per la refrigerazione magnetica o l'immagazzinamento di idrogeno (collaborazione con ML4). **5)** Crescita e caratterizzazione film sottili con magnetoresistenza anisotropica per sensoristica biomedica (Nano4Brain); **6)** preparazione e caratterizzazione 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); **7)** realizzazione di composti magnetici di Heusler sotto forma di film sottili prodotti per sputtering o epitassia a fascio molecolare (collaborazione con ML1); **8)** studio delle trasformazioni ordine-disordine in film sottili a base Fe-Pd; **9)** studio delle proprietà magnetiche e microstrutturali delle ossidiane di interesse archeologico al fine di supportarne la determinazione di provenienza; **10)** studio dell'influenza della simmetria cristallina dei magneti chirali sullo sviluppo della Dzyaloshinskii-Moriya Interaction.

Risultati ottenuti 1) Studio delle relazioni struttura-proprietà nelle leghe Fe-Ga ad alta magnetostriazione, sia in forma di lega massiva (1 articolo sottoposto) che di film sottile (1 articolo sottoposto); 2) analisi della cinetica della trasformazione ordine-disordine in film sottili di Fe-Pd e dell'influenza della microstruttura sulle proprietà magnetiche dure (1 articolo sottoposto); 3) preparazione di campioni di MnBi per lo studio degli effetti termoelettrici trasversi; 4) stesura di un capitolo (*Practices and perspectives in magnetic sourcing of ancient obsidians*) di una monografia di prossima pubblicazione sulle analisi di provenienza delle ossidiane; 5) partecipazione ad un'analisi interlaboratorio della composizione di un campione di ossidiana giapponese.

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 heterostructures 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*).

Attività svolta **1)** È stata studiata la dipendenza dalla temperatura del tempo medio di collisione dei magnoni in un device con effetto spin Seebeck YIG/Pt; **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 heterostructures metallici. **3)** a) Setup di un servizio di misura della DMI con sistema magnetoottico, 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) Effetti di non-reciprocità nella relazione di dispersione delle onde di spin.; **5)** a) Studio dell'interazione di Dzyaloshinskii-Moriya come teoria di gauge non-abeliana **5)** b) 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 degli effetti del campo elettrico accoppiato alle spin currents.

Risultati ottenuti. **1)** Il tempo di collisione dei magnoni dello YIG è composto da due contributi: a bassa temperatura domina la collisione con i difetti mentre ad alta temperatura domina la collisione tra magnoni. Questo risultato può indicare come ottimizzare l'effetto spin Seebeck; **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 DMI (paper); **4)** comprensione dell'influsso di parametri (come per esempio la DMI) sulla non-reciprocità della relazione di dispersione (paper); **5)** a) Studio teorico dell'accoppiamento magneto-elettrico e applicazione delle teorie di gauge alla DMI in presenza di un campo elettrico (paper) **5)** b) 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 (paper submitted).

Attività Ruolo NMI

Metrologia magnetica

Obiettivi. **1)** Miglioramento e consolidamento degli studi di metrologia nell'ambito del magnetismo e dei materiali magnetici; **2)** Anticipazione dei bisogni metrologici nei campi della spintronica e del nanomagnetismo.

Attività svolta **1)** Esecuzione di misure di perdita su Epstein e SST (progetto HEFMAG) a temperatura ambiente e fino a 155°C nell'ambito di vari Round Robin internazionali. Sviluppo di software Python per la gestione e l'analisi di grandi quantità di dati sperimentali. 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 spessore ridotto, alta temperatura sino a 155°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). **3)** Trasferimento di conoscenze in merito a misure e calibrazioni magnetiche a colleghi di NMI stranieri (CEM, Spagna; NSAI, Irlanda; quadro del progetto 21SCP02 TRaMM).

Risultati ottenuti. Consolidamento delle CMC dichiarate. 1 Pubblicazione nel campo dei materiali magnetici. Corsi e materiale didattico per ricercatori in metrologia magnetica.

Attività Knowledge Transfer

Formazione e divulgazione scientifica

Obiettivi. **1)** aumento della capacità di collaborazione con 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.

Attività svolta

- Corsi "Magnetism, magnetic materials and measurements" (III livello, Polito)
- Corso "Fisica dello stato solido e laboratorio: laboratorio (materiali magnetici)" (Corso di I livello, Università del Piemonte Orientale)
- Tutoraggio di tirocini e tesi di laurea triennale e magistrale e di dottorato
- Partecipazione al progetto 'Settimane a scuola' in collaborazione con Centroscienza per la divulgazione delle scienze nelle scuole primaria e secondaria di primo grado attraverso la didattica a distanza

- Partecipazione ai gruppi di lavoro "Education & Outreach" e "AIMagn Colloquia" dell'Associazione Italiana di Magnetismo, per la divulgazione e la disseminazione
- Partecipazione al comitato scientifico del Centro Interdipartimentale per la Cristallografia Diffrattonometrica (CRISDI) dell'Università di Torino
- tutoraggio di progetti di alternanza scuola-lavoro previsti dalla Legge 107/2015
- progettazione di un kit didattico con esperimenti portatili per la didattica del magnetismo (MagBox) in collaborazione con il CNR e l'Associazione Italiana di Magnetismo (AIMagn)
- 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 ottenuti. **1)** Tesi di laurea magistrale e di dottorato svolte nei laboratori del settore; **2)** Avvio della collaborazione con CNR e AiMagn per la progettazione di un kit didattico con esperimenti sul magnetismo (MagBox) 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.

Attività svolta **1)** Attività di disseminazione nell'ambito dei progetti europei EMPIR 19ENG06- HEFMAG, TOPS, MagnEFi, BEMAGIC, 21SCP02; **2)** Attraverso il consorzio Proplast, offerta di trasferimento tecnologico alle aziende piemontesi; **3)** Promozione e svolgimento di contratti per misure, consulenze e collaborazioni con aziende italiane e straniere operanti nei settori dell'elettrotecnica e della produzione di materiali magnetici (Arcelor Spagna -analisi materiali per binari-)

Risultati ottenuti. **1)** Consolidamento del ruolo del gruppo nei confronti di stakeholders nazionali e internazionali; **2)** Ampliamento del bacino d'utenza per l'attività di caratterizzazione dei materiali

Divisione Metrologia applicata e ingegneria

Responsabile: Michela Segà

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2021

Ricercatori e Tecnologi: 40. Tecnici: 27

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 6. Associati e incarichi: 6

Articolazione delle attività

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

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

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

La Divisione complessivamente è attiva nell'ambito delle tre missioni dell'INRiM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede dei Settori. Ha partecipato nel corso del 2021 a 45 progetti di ricerca nazionali e internazionali, molti dei quali nell'ambito dell'*European Metrology Programme for Innovation and Research* (EMPIR), di cui quattro coordinati dalla Divisione (17NRM03 EUCoM, 18NRM03 INCIPIT, 19SIP ENV58b CRB, 20IND06 PROMETH2O). La Divisione è stata inoltre attiva nella proposizione di proposte di progetto nei vari ambiti della *Call EMP 2021*, anche in collaborazione con le altre Divisioni, quattro delle quali sono state classificate come finanziabili nella *Call Green Deal*. Nell'anno 2021 sono stati pubblicati 53 lavori su riviste internazionali indicizzate (di cui 39 con *Impact Factor*).

Nel corso del 2021, la Divisione ha partecipato alle attività, alle riunioni e alle conseguenti iniziative di quattro *European Metrology Networks* (EMN), reti costituite e approvate in seno ad EURAMET.

EMN for Climate and Ocean Observation, coordinata da NPL, che si propone di costituire una rete collaborativa in grado di fornire competenza metrologica per i numerosi stakeholder che effettuano e utilizzano misure per le osservazioni in ambito climatologico e oceanico. La rete è suddivisa in tre sezioni tematiche: *Atmosphere Observation, Ocean Observation, Land and Earth Observation*, coordinate rispettivamente da METAS, LNE, NPL. Il progetto EMPIR 18NET04 ForClimateOcean, a supporto della EMN, vede come partner interni finanziati esclusivamente i coordinatori della EMN e delle tre sezioni (NPL, LNE, METAS). La Divisione è attiva in tutte le sezioni della rete e ad essa afferiscono le persone di contatto sia della rete nel suo complesso sia delle singole sezioni. In questo contesto, ha fornito nel 2021 un contributo alla rete mediante attività di servizi metrologici e disseminazione, partecipazione attiva alle iniziative della rete, rappresentanza negli organismi internazionali rilevanti ai temi di interesse della rete, presentazione della rete in eventi internazionali, mantenendo e rafforzando le collaborazioni con i vari *stakeholder* sia a livello nazionale sia a livello internazionale. Nel corso del 2021 sono stati organizzati eventi a carattere generale della rete, ai quali l'INRiM ha garantito una attiva partecipazione. In aprile 2021 si è tenuta una serie di *Workshop* sulla *Strategic Research Agenda* (SRA) articolati sulla base dei tre pilastri della rete rivolti ai membri della rete. Il 17 giugno 2021 è stata organizzata l'assemblea generale dell'EMN (*Annual General Meeting*). Tutti gli eventi si sono tenuti in modalità online data l'emergenza pandemica legata al Covid-19. Tra le iniziative di rilievo si segnala la prosecuzione della redazione della SRA, volta a recepire le indicazioni dei vari *stakeholder*.

EMN for Mathematics and Statistics, coordinata da PTB, a cui la Divisione partecipa in collaborazione con la Divisione ML. La rete si propone di costituire un punto di riferimento per gli istituti metrologici, gli enti normatori, il mondo accademico e l'industria, sui temi della matematica e della statistica in metrologia, fornendo linee-guida, sviluppando codici di calcolo, incentivando la collaborazione all'interno di progetti scientifici e favorendo la disseminazione della conoscenza attraverso pubblicazioni, convegni dedicati e materiale didattico. L'INRiM è coinvolto nel progetto EMPIR 18NET05 MATHMET, finalizzato a favorire la rapida implementazione della EMN. In questo contesto, la Divisione ha continuato a partecipare alla selezione e consultazione dei principali utenti scientifici, accademici ed industriali della rete, alla redazione di una prima bozza di agenda strategica in cui individuare le priorità di ricerca e allo sviluppo di un sistema di gestione per assicurare la qualità di dati, codici di calcolo e linee guida. Inoltre, a partire dalla sua costituzione, ha ricoperto una posizione all'interno dello *steering committee* della rete, partecipando ai lavori del comitato stesso. Nell'ambito delle attività di formazione e disseminazione di competenza della rete, l'INRiM ha organizzato, in collaborazione col Politecnico di Torino, la seconda edizione del *workshop "Mathematical and Statistical Methods for Metrology"*, tenutosi in modalità virtuale in data 31 maggio – 1 giugno 2021. A ottobre 2021, inoltre, è stata avviata l'attività di rete "*Measurement uncertainty training*", proposta dal PTB e finalizzata al miglioramento della qualità, efficienza e disseminazione di attività formative sul tema della valutazione

dell'incertezza di misura. Inoltre, è proseguita l'attività di tutoraggio rivolta a studenti di vario livello e sono stati erogati diversi corsi di formazione. Sul piano della ricerca, sono state svolte numerose attività scientifiche e tecniche in ambito matematico, statistico e modellistico, censite nelle schede dei vari settori sulla base dell'afferenza del personale coinvolto.

La Divisione ha contribuito attivamente alla costituzione della **EMN on Advanced Manufacturing**, coordinata dal PTB, approvata nel 2021. Ha partecipato al progetto EMPIR 9NET01 AdvManuNet con ruolo di *Work Package Leader*; in particolare ha curato le fasi preliminari a partire dalla stessa definizione di manifatturiero avanzato. Dopo l'approvazione della rete, le elezioni interne hanno visto il rappresentante INRiM, afferente alla Divisione AE, eletto al ruolo di vicepresidente con responsabilità su una delle tre Sezioni, *Manufactured Components and Products*. La EMN ha iniziato la preparazione della *Strategic Research Agenda* che riconoscerà le esigenze principali di metrologia nel manifatturiero avanzato, come guida per i futuri lavori di EURAMET nel settore.

Nel 2021 l'INRiM ha aderito alla **EMN for Energy Gases**, coordinata dal VSL. La rete ha il preciso scopo di diventare il punto di riferimento per la necessaria certificazione di quelle misure che sono tanto complesse da non essere alla portata dei singoli Stati Membri. Questa rete metrologica prevede di supportare, in modo coordinato, gli organismi governativi, quelli internazionali di normazione, i produttori di strumentazione e gli utilizzatori finali che sono coinvolti in questo nuovo corso. Le attività tecnico scientifiche svolte dal network si possono riassumere in: elaborazione della *Strategic Research Agenda* mirato a supportare il processo di transizione che sia condiviso tra i collaboratori della rete, siano essi industriali, governativi oppure organismi di normazione; promozione della disseminazione delle nuove procedure di misura e delle esperienze maturate durante lo svolgimento di attività innovative di ricerca scientifica e tecnologica; costituzione di una struttura organizzativa capace di prevedere le problematiche metrologiche connesse alla transizione e di proporre tempestivamente le necessarie soluzioni; produzione e diffusione della documentazione necessaria al rinnovo del quadro normativo internazionale, in collaborazione con le organizzazioni deputate. La Divisione svolge un ruolo attivo nella rete, e ad essa afferiscono le due persone di contatto.

Nel corso del 2021, la Divisione ha proseguito nelle attività legate alla costituzione della **EMN for Clean Energy**, anche partecipando attivamente al progetto EMPIR 20NET01 Clean Energy ad essa associato.

Ricerca e Sviluppo

Nel corso dell'anno 2021, per quanto concerne le attività nella **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnalano i seguenti risultati di rilievo:

- lo sviluppo di un metodo sperimentale e di un modello di calcolo per la determinazione dei moduli di indentazione, del lavoro di indentazione e dello scorrimento di indentazione di materiali metallici, per mezzo di forze a livello di macroscale fornite da una macchina primaria campione di durezza presso l'INRiM. I moduli di indentazione sono stati accuratamente determinati dalle misurazioni del carico di indentazione, spostamento, rigidità di contatto e *imaging* di indentazione della durezza e dalla pendenza della curva di scarico dell'indentazione applicando il modello lineare di Doerner-Nix; il lavoro di indentazione, che rappresenta il lavoro meccanico impiegato durante l'applicazione della forza della procedura di indentazione, è stato determinato calcolando le aree sotto la curva di indentazione carico-scarico, adattando i dati sperimentali con una legge polinomiale. Le misurazioni sono state eseguite con un penetratore piramidale (test di Vickers). La forza applicata è stata fornita da una macchina a pesi diretti e il relativo spostamento è stato misurato da un sistema interferometrico laser. Sono state misurate simultaneamente le forze applicate e le profondità di indentazione ed è stata ottenuta la curva di indentazione di carico-scarico risultante. Sono state eseguite prove illustrative su campioni di metalli e leghe. Sono state riportate discussioni e commenti sull'adeguatezza del metodo e dell'analisi proposti. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Materials* (IF 3.623).
- l'attività di ricerca connessa alla accurata caratterizzazione delle proprietà microstrutturali e di trasporto in materiali porosi utilizzati in medicina rigenerativa. Le misurazioni sono state effettuate con un apparato di misura ideato, progettato e realizzato presso l'INRiM. Data l'elevata accuratezza delle

misurazioni, è stato possibile fornire caratterizzazioni quantitative delle proprietà microstrutturali di varie tipologie di *scaffold* ossei utilizzati in medicina rigenerativa, ad oggi forniti attraverso simulazioni fluidodinamiche. Il modello fisico è basato sull'implementazione dell'equazione di Ergun-Wu. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Acta Biomaterialia* (IF 8.947).

- nell'ambito dello sviluppo di specifiche procedure di taratura per ottemperare alla crescente richiesta di trasduttori di forza e momento multicomponente, è stata svolta un'indagine teorica, basata su un trasduttore ideale, sull'influenza del piano sperimentale nella valutazione dei termini della matrice di utilizzo e delle incertezze associate in funzione del numero di misurazioni e della correlazione tra le forze e i momenti applicati. Si è riscontrato che al diminuire del numero di misurazioni e all'aumentare delle correlazioni tra le forze e i momenti applicati, le incertezze aumentano, mentre i termini della matrice di utilizzo sono scarsamente influenzati dal piano sperimentale scelto. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Open Access Measurement: Sensors*.

Sulle tematiche della **Metrologia della lunghezza**, sono di particolare importanza i seguenti risultati conseguiti nell'anno 2021:

- la conclusione, con successo, del progetto EMPIR EUCoM (Evaluating the Uncertainty in Coordinate Measurement) coordinato dall'INRiM. Le misure a coordinate sono pratica industriale ordinaria per il controllo dimensionale di pezzi semilavorati rispetto alle tolleranze a disegno. Le norme internazionali (JCGM 106, UNI EN ISO 14253 1) stabiliscono che l'incertezza di misura è parte irrinunciabile per verificare la conformità. Nelle misure a coordinate, incertezza è però difficile da valutare e spesso ignorata, con rischio di false decisioni. Le conseguenze possono variare da semplici inefficienze ad eventi disastrosi quali guasti di componenti critici per la sicurezza. EUCoM ha elaborato tre metodi per valutare l'incertezza idonei all'applicazione industriale. Uno è interamente sperimentale e basato sull'analisi della varianza (ANOVA) di misure ripetute; gli altri due predicono l'incertezza sulla base d'informazione già disponibile ordinariamente. I metodi sono stati validati mediante un'estesa campagna sperimentale svolta in 10 Paesi, in geometria sia prismatica sia libera, sia per punti discreti sia per scansione. I risultati dimostrano l'efficacia dei metodi, in particolare di quello sperimentale; gli altri due, basati su informazioni a priori, sono necessariamente approssimati, e forniscono indicazioni utili in fase di progettazione della misura. Il progetto ha prodotto, fra il resto, sei articoli su rivista e un capitolo di libro, di cui tre partecipati dall'INRiM; altri tre (di cui due partecipati) sono in corso di pubblicazione. Lo ISO/TC 213/WG 10 (CMMs) ha iniziato il progetto ISO 15530 2 per recepire il metodo sperimentale in una norma internazionale. Maggiori informazioni sono reperibili sul sito del progetto <https://eucom-empir.eu/>.
- le attività portate avanti nell'ambito del manifatturiero avanzato, chiave per il mantenimento della competitività nazionale ed europea, sfociate nella partecipazione con ruolo di rilievo alla costituzione e approvazione della *European Metrology Network* su questo tema, ricoprendo il ruolo di vicepresidente con responsabilità su una delle tre Sezioni, *Manufactured Components and Products*. La EMN è ora al lavoro per preparare la *Strategic Research Agenda* che riconoscerà le esigenze principali di metrologia nel manifatturiero avanzato, come guida per i futuri lavori di EURAMET nel settore. I primi risultati del lavoro, fra cui gli esiti di un'inchiesta europea, sono riassunti in un articolo pubblicato sulla rivista internazionale *Measurement Science and Technology* (IF 2.046).

Nell'ambito delle **Misure elettriche ed elettroniche**, nell'anno 2021 si segnalano i seguenti risultati di rilievo:

- l'applicazione di varie tecnologie allo sviluppo di nuovi materiali polimerici con agenti chimici funzionalizzanti per il miglioramento delle caratteristiche chimico fisiche ed elettriche. Parte delle caratterizzazioni dei materiali ottenuti si basa su misure elettriche. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Cellulose* (IF 5.044).
- l'attività condotta su un divisore, modificato per conformarsi ai requisiti IEC 60060 in termini di risposta al gradino e fattore di scala. Il divisore è stato calibrato sulla base delle Norme Nazionali INRiM di riferimento e caratterizzato sfruttandone il fattore di scala a diverse tensioni e frequenze. La descrizione dell'allestimento del divisore con un generatore sinusoidale per effettuare prove a basse

tensioni (inferiori a 1 kV) con singole tensioni è stato oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Open Access Electrical Engineering* (IF 1.836).

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

- lo studio della densità dell'acqua di mare standard, in condizioni di alta pressione e di equilibrio termodinamico anche metastabile. Sono state effettuate delle misurazioni e i valori di densità sono state ottenuti utilizzando una cella picnometrica con metodo pseudo-isocorico. I risultati ottenuti, costituendo l'unico insieme di misure di densità di acqua marina in stati metastabili, saranno particolarmente utili per confermare la validità metrologica dell'equazione di riferimento *Thermodynamic Equation of SeaWater 2010* (TEOS-10). Gli stessi risultati hanno inoltre permesso di implementare una funzione a 8 parametri del volume specifico che consente di calcolare densità, coefficiente di espansione termica e comprimibilità isoterma. I risultati dello studio sono stati pubblicati sulla prestigiosa rivista internazionale *Deep-Sea Research I* (IF 2.955)
- l'applicazione di un metodo primario per le misure di indice di rifrazione di elio e neon complessivamente ottenute nell'intervallo di temperatura compreso fra i punti fissi dell'idrogeno (13.8 K) e dello xenon (161.4 K). Dai risultati di tali misure vengono determinate le differenze ($T - T_{90}$) fra la temperatura termodinamica T e la sua approssimazione T_{90} sulla Scala Internazionale di Temperatura, utili per una futura revisione internazionale di tale approssimazione e della sua incertezza prevista nel 2022. Dagli stessi risultati viene anche determinato il secondo coefficiente viriale di He e Ne per un confronto con i calcoli *ab initio* delle stesse proprietà. I risultati sono stati oggetto di pubblicazione nella rivista internazionale *Metrologia* (IF 3.157).
- la progettazione, lo sviluppo e l'implementazione di una nuova *facility* di misura per la taratura di lotti di MEMS e sensori ad uscita digitale e reti di sensori per la misura della temperatura, nel laboratorio di igrometria primaria, nell'ambito del progetto EMPIR 17IND12 MET4FOF "*Metrology for the factory of future*". Il primo servizio di taratura per questa *facility* è stato offerto al partner industriale di progetto SPEA s.p.a. che ha partecipato alla realizzazione della *facility* ed ha costituito uno dei test-bed del progetto. L'infrastruttura è composta da un mezzo comparatore a liquido, una capsula a tenuta stagna ed un sistema di acquisizione dati digitale e analogico. L'INRiM ha fornito la taratura di un lotto di 64 sensori ad uscita digitale TI TMP117 per la misura della temperatura facenti parte della *reference-fixture* di una macchina per il test automatico di parti elettromeccaniche (ATE).

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

- la pubblicazione sulla rivista internazionale *Food Control* (IF: 5.48) di un articolo che propone un approccio bayesiano multivariato per la valutazione di rischi di decisioni errate, nell'ambito della valutazione di conformità di composizioni chimiche di sostanze o materiali, che tiene in considerazione l'incertezza di misura, le covarianze ed il vincolo di massa tra le componenti. Il metodo, applicato ad un *dataset* di misure composizionali di un prodotto alimentare, ha evidenziato un rischio totale (globale) per il consumatore pari a 0.6 %, mentre quello per il produttore è pari a 1.7 %. I rischi totali, ma specifici per ciascun particolare campione analizzato, possono essere anche piuttosto elevati quando alcune delle componenti risultano vicine ai rispettivi limiti di tolleranza.
- la campagna in campo coordinata dall'INRiM nell'ambito del progetto MeteoMet volta a quantificare l'effetto della radiazione riflessa al suolo in presenza di neve su stazioni meteorologiche per la misura della temperatura dell'aria e l'incertezza ad esso associata. L'analisi dati, elaborata su misure effettuate con strumenti rappresentativi di diverse tipologie, evidenzia un *bias* di temperatura significativo (fino a 4 °C) in presenza dell'effetto albedo esplorando variabili di influenza quali vento e radiazione e validando un approccio metodologico di interesse nell'ambito della definizione e quantificazione del bilancio di incertezza della temperatura dell'aria per scopi ambientali e climatologici. I risultati sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista internazionale *Atmospheric Measurement Techniques* (IF 4.176).

- con lo scopo di aggiornare la Guida No. 8 della Commissione Strumenti e Metodi di Osservazione (CIMO) del WMO, riguardo al posizionamento delle stazioni meteo, è stato disegnato, installato e condotto un esperimento per valutare metrologicamente la massima influenza di una strada asfaltata sulle misure di temperatura dell'aria *near-surface* (2 m). Il lavoro ha permesso di ridurre l'incertezza sulle misure di temperatura dell'aria dovute alla presenza di strade, che la guida assegnava alle stazioni, di un fattore 3, ed ha fondato le basi per valutazioni analoghe per altri ostacoli. Il climatologo Victor Venema, già *chair* del *Task Team Homogeneization* della Commissione di Climatologia del WMO, ha definito il lavoro "una piccola rivoluzione scientifica". I risultati sono stati pubblicati sulla rivista *International Journal of Climatology* (IF: 3.609)
- la pubblicazione sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 3.364) del *position paper* del progetto IUPAC/CITAC 2019-012-1-500 "*Influence of a mass balance constraint on uncertainty of test results of a substance or material and risks in its conformity assessment*" (https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2019-012-1-500) è stata insignita nell'anno 2021 del CITAC *Best Paper Award* per l'anno 2020 ed è stata oggetto di presentazione in un *webinar* dedicato, organizzato dal CITAC.

Ruolo NMI

La Divisione mantiene 12 Campioni Nazionali e ne sviluppa e mantiene numerosi altri in tutti i settori scientifici di pertinenza. Nel 2021 sono risultati attivi 24 confronti internazionali di misura nei settori della massa e grandezze apparentate, vibrazioni, lunghezza, termometria, elettromagnetismo, chimica (analisi di gas). Sono stati emessi quasi 1.300 certificati di taratura e prova, di cui un quinto rivolti a laboratori e gruppi di ricerca dell'INRiM, e circa 150 relazioni di ILC, distribuiti nelle aree AUV, EM, L, T, M, F, MC.

La Divisione ha garantito nel 2021 la rappresentanza negli organismi metrologici europei e internazionali e nei rispettivi comitati tecnici e gruppi di lavoro (TC-AUV, TC-F, TC-L, TC-M, TC-MC, TC-T di EURAMET, CCL, CCAUV, CCM, CCQM, CCT del CIPM), mantenendo anche la *Convenorship* del SC *Humidity* del TC-T, la *Chairmanship* del WG *Environment* e la *co-chairmanship* del TG *Air Temperature* del CCT. In ambito IMEKO, mantiene il ruolo di delegato nazionale, la *Chairpersonship* dei TC 8 e TC 9 e la segreteria del TC 12. Ricopre inoltre i ruoli di *Chairmanship* nell'*Expert Team "Measurement Uncertainties"* del WMOSC-MINT INFCOMM, di *Chair-Rapporteur on Climate and reference stations – Commission of Climatology – WMO* Garantisce la partecipazione come delegato nazionale a vari *expert team* del WMO e del GRUAN.

Per l'anno 2021 si segnalano i seguenti risultati di rilievo principale.

Per quanto riguarda la **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnalano i seguenti risultati di particolare rilievo:

- la pubblicazione sulla rivista *Open Access Measurement: Sensors* di un lavoro che descrive il processo utilizzato dal Comitato Consultivo per la Massa e le grandezze apparentate - Gruppo di Lavoro sulla Durezza (CCM-WGH) - del CIPM per sviluppare le definizioni internazionali dei metodi di prova della durezza convenzionale Rockwell, Brinell, Vickers e Knoop, per l'uso da parte degli istituti metrologici nazionali (NMI) che realizzano i campioni di durezza.
- la realizzazione di un sistema di taratura per coprire il campo delle bassissime frequenze, da 0.01 Hz a 5 Hz (per *range* di accelerazione da 0.001 m/s² a 20 m/s²) per la taratura di sismometri. I risultati ottenuti sono stati oggetto di una pubblicazione sulla rivista *Open Access Measurement: Sensors*.

Si segnala inoltre che è stato realizzato e messo in pratica un sistema di taratura (per il trasferimento) presso il laboratorio di Misure meccaniche, termiche e ambientali dell'Università dell'Aquila in collaborazione con INRiM, al fine di disseminare la catena di riferibilità da SI, alla rete dei laboratori di taratura e accreditamento Nazionale, per la grandezza "accelerazione" di sensori digitali. Queste attività hanno consentito la pubblicazione di un articolo sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 3.927).

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, attraverso la partecipazione a confronti internazionali (APMP.L-S5, *Nanoparticle Characterization - Supplementary Comparison on Nanoparticle Size*.) e a confronti di misura nell'ambito di progetti europei (EMRP "*Nanoparticles*", ed EMPIR "*3DNANO-Traceable three-dimensional nanometrology*") sono state pienamente attestate le capacità di misura del diametro medio di

nanoparticelle quasi sferiche in oro, argento, silica e polistirene, il tutto a supporto della nuova CMC assegnata nel campo di misura da 5 nm a 500 nm ed incertezza estesa tra 1,8 nm e 12 nm. La taratura del diametro medio delle nanoparticelle depositate su un substrato ultrapiatto (mica) avviene attraverso la ricostruzione con microscopio a forza atomica metrologica della sezione polare della particella quasi sferica e la misura dell'altezza del polo rispetto al substrato piatto. L'ipotesi che le particelle siano sferiche è assunta comunemente nelle misurazioni delle nanoparticelle. Da notare che il misurando è il diametro medio di una popolazione di particelle, non solo una singola particella, e che il significato del diametro medio potrebbe differire per metodi di misura differenti. Per quanto riguarda la partecipazione a confronti internazionali di misura si segnala il seguente risultato di rilievo:

- la pubblicazione su *Metrologia* (IF 3.157) del rapporto finale del confronto chiave EURAMET.L-K4.2015 sui campioni diametrali, coordinato dall'INRiM, a cui hanno partecipato 20 NMI a 1 DI provenienti da Europa, Asia e Sud America. Il confronto è stato suddiviso in due gruppi paralleli con dodici laboratori EURAMET nel gruppo 1, dieci laboratori EURAMET e due laboratori di GULFMET e SIM nel gruppo 2, e tre laboratori, CEM, INRiM e METAS, in entrambi i gruppi per assicurarne il *linking*. Due set di campioni costituiti ognuno di due anelli, due tamponi e una sfera, sono circolati in parallelo nei due gruppi con inizio a novembre 2016 e conclusione a febbraio 2018. Il valore di riferimento (KCRV) di diametro, rotondità e rettilineità è stato calcolato per ogni campione come media pesata dei risultati presentati dai laboratori. Tenuto conto del *linking* tra i gruppi, i risultati incoerenti sono risultati in numero di 12 su 119 risultati indipendenti per il diametro e 1 su 21 per la rotondità della sfera. I risultati del confronto supportano le capacità di misura (CMC) di gran parte dei laboratori partecipanti, mentre raccomandazioni e azioni correttive sono state concordate con coloro che hanno risultati incoerenti.

Sul fronte delle **Misure elettriche ed elettroniche**, si segnala la *reinstatement* di 15 CMC, in carico al LATFC, relative all'impulso atmosferico e la presentazione di una nuova CMC sull'impulso troncato in seguito alla partecipazione con successo al confronto internazionale EURAMET.EM-S42 relativo ai sistemi di misura di alte tensioni impulsive.

È di particolare rilievo l'attività svolta nella progettazione, lo sviluppo e la caratterizzazione di un divisore di tensione continua riferibile per applicazioni metrologiche di precisione, i cui risultati sono stati pubblicati sulla rivista internazionale *Measurement* (IF 3.927).

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, è di particolare rilievo la fornitura del primo servizio di taratura di un lotto di 64 sensori ad uscita digitale TI TMP117 parte di una macchina ATE per il test automatico di componenti. Tale servizio è stato attivato per mezzo della nuova *facility* sviluppata nell'ambito del progetto EMPIR 17IND12 MET4FOF "*Metrology for the factory of future*". Interagendo con il progetto parallelo EMPIR 17IND02 SMARTCOM "*Communication and validation of smart data in IoT-networks*" il laboratorio di igrometria ha codificato il primo proof of concept di certificato di taratura digitale (DCC) dell'INRiM sviluppato in collaborazione con il PTB. Un particolare algoritmo a bordo della macchina ATE può decodificare in autonomia il codice del DCC emesso e correggere le letture dei propri sensori e acquisire la riferibilità metrologica senza ausilio dell'intervento di un operatore.

Per quanto concerne la **Termodinamica applicata**, nel 2021 è stato pubblicato sulla rivista *Metrologia* (IF 3.157) il rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018 sulla preparazione di miscele di biossido di azoto in azoto alla frazione molare di 10 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, che ha visto l'INRiM tra i partecipanti. I risultati del confronto, hanno dimostrato una notevole dispersione dei valori tra i partecipanti, particolarmente marcata nel caso di utilizzo di miscele gravimetriche rispetto a quelle dinamiche, essendo il biossido di azoto molto instabile, soprattutto a basse concentrazioni, come quella oggetto del confronto.

Di particolare rilievo è il ruolo chiave nella costituzione e nell'avvio del nuovo importante *Task Group "Air Temperature"* del BIPM CCT, in cui INRiM ha il ruolo centrale di *co-chairmanship*, dedicato a risolvere i numerosi problemi scientifici e tecnici nella misura della temperatura dell'aria, inclusa la sua definizione operativa, analisi di incertezza e riferibilità delle misure. Il gruppo di lavoro è stato formato e reso operativo con il kick-off meeting del Novembre 2021. Si segnala inoltre il ruolo fondamentale nello sviluppo e nella preparazione alla Commissione di Climatologia del WMO (ora SERCOM) del documento WMO "*Climate Reference Stations – prescriptions and requirements*", frutto del lavoro di due anni dell'*Expert Team on Climate*

Reference Stations. Tale iniziativa ha assicurato l'allineamento alle prescrizioni della GUM (*Expression of Uncertainty in Measurement*) e del VIM (*International Vocabulary of Metrology*) del documento prodotto. A partire da tale lavoro è stata prodotta la raccomandazione SERCOM-1(II)/Doc. 5.1.3(4) Approvata dalla sessione plenaria della Commissione WMO il 26 Febbraio 2021.

Campioni nazionali (DM 591/1993)

AE1	Grandezza massa, unità di misura kg, copia n. 62 del Kilogrammo Prototipo Internazionale (KPI) in platino iridio
AE1	Grandezza forza, unità di misura N, realizzazione macchine campione di forza da 1 N a 10 MN
AE1	Grandezza massa volumica, unità di misura kg/m ³ , realizzazione sfere di silicio cristallino
AE1	Grandezza pressione, unità di misura Pa, realizzazione impianto ad espansione dinamica e statica, bilance di pressione (liquido o gassoso).
AE1	Grandezza portata in massa di liquidi, unità di misura kg/s, realizzazione impianto campione
AE2	Grandezza metro, unità di misura m, campione di lunghezza d'onda (laser stabilizzati e pettine di frequenza)
AE2	Grandezza angolo piano, unità di misura rad, realizzazione impianto campione
AE3	Grandezza tensione elettrica, unità V, sorgenti di tensione continua allo stato solido
AE3	Grandezza resistenza elettrica, unità Ω , resistori campione nel campo 1 Ω 100 T Ω
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 24.6 K e 273.16 K mediante termometro a resistenza di platino a capsula (6 campioni)
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 83.8 K e 1235 K mediante punti fissi (9 campioni)
AE4	Grandezza temperatura termodinamica, unità K, Scala Internazionale di Temperatura del 1990 (STI-90) tra 1235 K e 2500 K mediante termometro a radiazione monocromatico (2 campioni)

Altri campioni

AE1	Grandezza durezza, unità punti della scala, realizzazione durometri (scale: Rockwell, Vickers, Brinell)
AE1	Volume di solidi e liquidi, unità di misura m ³ , realizzazione campioni di volume
AE1	Densità di liquidi, unità di misura kg/m ³ , realizzazione campioni di densità
AE1	Accelerazione di gravità locale, unità di misura m/s ² , realizzazione: gravimetro assoluto trasportabile
AE1	Accelerazioni dinamiche, unità di misura m/s ² , realizzazione: tavole vibranti e banco di shock
AE1	Portata di gas, unità mol/s, g/s L/s, realizzazione impianti campioni
AE2	Campioni interferometrici per misure dimensionali di righe ottiche, anelli, tamponi, campioni a facce, diametrali, scalini e rugosità delle superfici
AE2	Campioni per la nanometrologia e la metrologia a coordinate
AE3	Trasferimento ac-dc: trasferitori termoelettrici ac-dc ad array e Transfer Standards nell'intervallo 2 mV ÷ 1000V, 10 Hz ÷ 1 MHz
AE3	Divisori di tensione continua 1 mV ÷ 1000V
AE3	Derivatori in dc e cc nell'intervallo 1 mA – 100 A e per forti correnti fino a 100 kA
AE3	Sorgenti di tensione continua allo stato solido tipo FLUKE 732 A e B da 1 V, 1.018 V e 10 V
AE3	Attenuatori ac e dc
AE3	Sensori di potenza ac in alta frequenza
AE3	Trasformatori amperometrici fino a 10 kA
AE3	Condensatori e partitori capacitivi per misure fino a 700 kV
AE4	Termometri a resistenza di platino campione, nel campo di temperatura da -190°C a 960°C
AE4	Termometri campione per tarature di termometri a resistenza, termocoppie, termometri a liquido e catene termometriche in bagni termostatici nel campo da -90 °C a 550 °C
AE4	Termometri e termocoppie campione per tarature di termocoppie in tubo termoconvettore a controllo di pressione nel campo da 450 °C a 900 °C
AE4	Termocoppie campione per tarature di termocoppie in forno comparatore nel campo da 850 °C a 1100 °C
AE4	Termocoppie campione per tarature di termocoppie in forno tubolare nel campo da 1064 °C a

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

Trasferimento tecnologico (Knowledge Transfer)

La Divisione sostiene iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale mediante molteplici attività, come meglio delineato nelle schede di dettaglio dei settori. Nel 2020, oltre al consueto supporto ad ACCREDIA DT e DL, ha eseguito attività di *peer review* presso 6 NMI stranieri e fornito servizi di *technical assessment* per 4 enti di accreditamento stranieri. Ha partecipato all'attività di normazione nazionale e internazionale, a commissioni tecniche di settore e garantito la presenza in tavoli tecnici del MISE per le grandezze e settori di pertinenza.

Per quanto riguarda le attività della **Metrologia della massa e delle grandezze apparentate**, si segnala, per il particolare rilievo, la 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.

Per quanto concerne la **Metrologia della lunghezza**, tra i risultati principali ottenuti nel 2021, si segnalano:

- varie attività portate avanti nell'ambito degli enti normatori. Tutti i corpi si dilatano termicamente; per tolleranze e misure è necessario accordarsi sulla temperatura di riferimento. La UNI EN ISO 1 stabilisce che la temperatura normale di riferimento per le grandezze dimensionali è 20 °C. L'ISO, fondato nel 1947, ritenne prioritario l'argomento e vi dedicò la sua prima norma (1951); essa è ora alla terza edizione (2016). Il CCL si accorse nel 2018 di una possibile ambiguità: era il valore di 20 °C della temperatura termodinamica o di quella internazionale Celsius (secondo la ITS 90 International Temperature Scale 1990)? La differenza di 2,8 mK a 20 °C, pari ad una dilatazione di 3×10^{-8} per l'acciaio, è piccola ma rilevabile nelle tarature più accurate. Dopo consultazione con il CCT, il punto fu portato allo ISO/TC 213/WG 4, che ha iniziato un progetto normativo di revisione. L'INRiM ha avuto un ruolo di primo piano: presiede il CCL/WG MRA, coordina lo ISO/TC 213/WG 4, ed ha condotto il progetto di revisione. È stato consegnato ad ottobre il testo finale pronto per l'inchiesta internazionale FDIS (Final Draft International Standard), ultimo atto tecnico prima del passaggio del progetto agli uffici centrali ISO; si prevede la pubblicazione a metà del 2022. Il progetto risulterà assai efficiente (30 mesi soltanto), in collaborazione fra organi tecnici dell'ISO e del BIPM. Ciò ha anche aperto la strada per una collaborazione (liaison) fra BIPM e ISO/TC 213, formalizzata all'inizio del 2022; il funzionario di collegamento è un rappresentante dell'INRiM.
- Il ciclo di seminari sviluppati nell'ambito del progetto europeo EMPIR EUCoM, terminato a novembre 2021, che ha sviluppato tre metodi per la valutazione dell'incertezza delle misure a coordinate. L'argomento è di grande interesse industriale perché riguarda un nervo scoperto del controllo dimensionale praticato quotidianamente in quasi tutte le imprese manifatturiere. Lo scopo del progetto era di far recepire tali metodi in norme. L'attività di normazione è però lenta per procedura, con durata media dei progetti normativi di (3 - 5) anni. Per dare sbocco divulgativo immediato, si sono organizzati una serie di seminari in modalità remota (*webinar*). Per venire incontro alle difficoltà linguistiche di comprensione dei partecipanti, i seminari sono stati tenuti nazione per nazione in lingua nazionale; ciò ha permesso anche di adattare i contenuti generali alle esigenze specifiche del tessuto industriale di ogni Paese. Ne sono risultati 10 tenuti (virtualmente) in Italia, Repubblica Ceca, Germania, Giappone, Spagna, Polonia, Regno Unito, Turchia, Estonia e Danimarca. I seminari nazionali sono stati preceduti da una sessione plenaria (in inglese) dove sono stati trattati gli argomenti generali del

progetto e dei metodi sviluppati, registrando più di 200 partecipanti. Le sessioni nazionali (circa (400 – 500) partecipanti complessivi) si sono rivolte al chiarimento di singoli aspetti a richiesta dal pubblico, e alla condivisione dell'esperienza maturata dai singoli partner di progetto durante la campagna sperimentale di validazione dei metodi. Le registrazioni delle sessioni sono disponibili liberamente sul sito del progetto e su Zenodo (<https://eucom-empir.eu/seminars/>).

Per quanto riguarda le **Misure elettriche ed elettroniche**, si segnala l'attività inerente un sistema di misura appositamente sviluppato per la verifica di contatori in condizioni di regime distorto nell'ambito della Convenzione INRiM-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". I risultati hanno dato origine a una pubblicazione sulla rivista *Open Access Measurement: Sensors*.

Per quanto riguarda la **Termodinamica fisica**, un risultato di particolare rilievo è stato lo sviluppo, nell'ambito del progetto EMPIR 17IND12 MET4FOF "Metrology for the factory of future" di una *best practice guide* ed un video-corso destinati a tutti i partner del progetto e agli *stakeholder*. Tali prodotti sono stati sviluppati in seguito a una campagna di tarature effettuata dall'INRiM di un lotto di 64 sensori ad uscita digitale TI TMP117 per la misura della temperatura. Nell'ambito del progetto, infatti, nel laboratorio di igrometria primaria è stata implementata una nuova *facility* di misura per la taratura di lotti di MEMS e sensori ad uscita digitale per la misura della temperatura. Il primo servizio di taratura per questa *facility* è stato offerto al partner industriale di progetto SPEA s.p.a. che ha partecipato alla realizzazione della *facility* ed ha costituito uno dei *test-bed* del progetto.

Per quanto riguarda la **Termodinamica applicata**, tra i principali risultati di rilievo per l'anno 2021 si annoverano:

- l'organizzazione, insieme al Politecnico di Torino, del *Joint Workshop of ENBIS and MATHMET "Mathematical and Statistical Methods for Metrology"*, tenutosi in modalità virtuale nei giorni 31 maggio e 1 giugno (<http://www.msmm2021.polito.it/>) Arrivato alla sua seconda edizione, il *workshop* è stato congiuntamente promosso della *European Network for Business and Industrial Statistics* (ENBIS) e della *EMN for Mathematics and Statistics* (MATHMET), offrendo sessioni organizzate (61 presentazioni orali e 8 poster) su svariati argomenti di matematica e statistica per la metrologia (*uncertainty evaluation, machine learning for metrology, digital twins and virtual experiments, inverse problems, methods for sensor calibration, designs of measurement experiments, flow simulations*) e su specifiche tematiche relative a progetti EMPIR di pertinenza (EMUE, RaChy, QUIERO, MATHMET). Il numero totale di partecipanti ha superato le 120 persone, in collegamento da tutto il mondo e dai più svariati ambiti lavorativi (NMI, università, industrie, istituti di ricerca, enti di accreditamento).
- l'organizzazione della conferenza internazionale *Waiting for MMC 2021 international conference* a Jezersko (Slovenia), tenutasi nelle date 26-28 ottobre 2021. L'evento si è svolto in modalità ibrida sia in presenza sia con partecipanti collegati via web. Sono stati trattati diversi temi in metrologia per la meteorologia e il clima e ha ospitato riunioni di due progetti EMPIR (19SIP03-CRS e 18NRM03-INCIPIT) e un meeting in persona tra *ET-Chairs* e *WMO Secretariat*. Il numero totale di partecipanti ha raggiunto 80 persone, con collegamenti da tutti i continenti e 15 in presenza
- il contributo sia come moderatore sia tra i relatori allo *IUPAC/CITAC Web-seminar "Metrology, Quality and Chemometrics - Correlation of Test Results and Mass Balance Influence on Conformity Assessment"*, tenutosi in modalità virtuale il 21 gennaio (<https://www.citac.cc/2021-iupac-citac-webinar-metrology-quality-and-chemometrics-correlation-of-test-results-and-mass-balance-influence-on-conformity-assessment/>) L'evento, relativo a temi legati alla metrologia in chimica, organizzato congiuntamente tra IUPAC e CITAC, ha avuto relatori provenienti da quattro diversi continenti, con presentazioni che hanno spaziato dalla valutazione di conformità alla metrologia forense, ai materiali di riferimento. Vi sono stati più di 100 partecipanti, collegati da tutto il mondo.

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

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Astrua Milena ⁽¹⁾	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
Facello Alessio	3,00	6,00	2,00	0,00	0,00	11,00
Francese Claudio ⁽²⁾	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Germak Alessandro Franco Lidia ⁽³⁾	3,00	4,50	1,00	1,00	1,50	11,00
La Piana Gaetano	2,00	9,00	0,00	0,00	0,00	11,00
Leka Adelina ⁽⁴⁾	1,00	5,00	1,00	0,00	4,00	11,00
Malengo Andrea	5,00	3,00	2,00	1,00	0,00	11,00
Mari Domenico	5,00	3,00	0,00	0,00	0,00	8,00
Mazzoleni Fabrizio	3,00	6,00	2,00	0,00	0,00	11,00
Origlia Claudio ⁽⁵⁾	2,00	4,00	1,00	0,00	4,00	11,00
Orio Marina	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Pasqualin Stefano ⁽⁶⁾	2,80	8,20	0,00	0,00	0,00	11,00
Piccato Aline ⁽⁷⁾	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Santiano Marco ⁽⁸⁾	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Schiavi Alessandro	5,00	4,00	1,00	1,00	0,00	11,00
Spazzini Pier Giorgio ⁽⁹⁾	3,00	4,00	1,00	1,00	0,00	9,00
Torchio Davide	3,00	8,00	0,00	0,00	0,00	11,00
Personale TD						
Egidi Andrea	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0
Romeo Raffaella	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	4,0
<i>Tot.</i>	48,8	66,7	11	4	9,5	140
Assegni ricerca						
Prato Andrea	7,00	3,00	1,00	0,00	0,00	11,0
PhDs						
Rezvaneh Nobakht	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0
Rizza Pierluigi	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
<i>Tot.</i>	9	3	1	0	0	13
Totale	57,8	69,7	12	4	9,5	153

⁽¹⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE02

⁽²⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE03

⁽³⁾ componente Consiglio Scientifico (0,5 mese) + responsabile AE01 (1 mese)

⁽⁴⁾ assistente per la qualità (3 mesi) + rapporti con ACCREDIA (1 mese)

⁽⁵⁾ assistente per la qualità (3 mesi) + componente Consiglio di Direzione (1 mese)

⁽⁶⁾ ASPP (0,5 mesi)

⁽⁷⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE02

⁽⁸⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE02 e in ML4

⁽⁹⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE05

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Massa

Obiettivi. 1) Sviluppo di algoritmi e sw per migliorare i metodi utilizzati per la realizzazione della scala di massa. **Attività svolta.** 1) L'INRiM partecipa al progetto EMPIR 19RPT02 RealMass "Improvement of the realisation of the mass scale" ed è responsabile del WP3 "Development of mathematical and software tools". 2) È stato applicato il metodo basato sul calcolo della probabilità di conformità per la valutazione dei confronti interlaboratorio. È stato preparato un articolo dove si propone questo nuovo metodo.

Risultati ottenuti. 1) Pubblicazione articolo sulla rivista *Measurement: Sensors*, sulle attività svolte nel progetto EMPIR RealMass. 2) Sono state definite le specifiche del software che l'INRiM realizzerà nell'ambito del progetto EMPIR RealMass. 3) Inviato articolo sulla valutazione dei risultati interlaboratorio e delle CMC basato sulla probabilità di conformità per pubblicazione su rivista internazionale.

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.

Attività svolta. **1)** L'INRiM partecipa al progetto EMPIR 20IND13 SAFEST "Sustainable advanced flow meter calibration for the transport sector" ed è responsabile del WP3 "Transport properties of alternative and synthetic fuels". **2)** È stato validato sperimentalmente un nuovo metodo per la taratura di misuratori di portata di GPL, un articolo da pubblicare su rivista internazionale è in corso di preparazione.

Risultati ottenuti. **1)** Sono state definite le specifiche tecniche per realizzare il nuovo banco di taratura per misuratori di portata adatto ad essere utilizzato con diversi fluidi e diverse condizioni di lavoro. **2)** Pubblicazione su rivista internazionale relativa a un nuovo metodo per la contabilizzazione del calore.

Portate e Volumi di gas

Obiettivi. **1)** Sviluppo degli impianti esistenti per miglioramento incertezze. **2)** Taratura di campionatori d'aria: sviluppi teorici e strumentazione dedicate. **3)** Analisi dell'incertezza per misure di volume tramite integrazione di portata discreta. **4)** Sviluppo e rifacimento di una Vasca Idrodinamica per prove su installazioni marine, in collaborazione con DIMEAS-PolITO.

Attività svolta. **1)** Sviluppati software e metodi di controllo per impianti, completata taratura impianto MeGas, 1 pubblicazione su rivista internazionale. **2)** Sviluppi teorici completati, in corso di stesura articolo da inviare a rivista. **4)** Effettuate discussioni preliminari e sviluppi per avamprogetto.

Risultati ottenuti. **1)** Software impianto MicroGas V2.0 pronto per validazione, V2.1 in preparazione, software impianto BellGas V1.0 pronto per validazione e sistema di controllo impianto MeGas pronto per prime prove. **3)** Metodologia di calcolo pronta, bozza di articolo. **4)** Avamprogetto per rifacimento.

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).

Attività svolta. **1)** Finalizzazione dello studio di "stray-light analysis" e realizzazione di una nuova versione del sistema RAY, volta al miglioramento del set up ottico, della camera da vuoto in alluminio, dotata di finestre ottiche progettate ad hoc ed alla realizzazione del relativo sistema di controllo termico. **2)** Realizzazione ed ottimizzazione del sistema di controllo termico e relativo software di gestione e realizzazione del campione ottico di pressione UINT.

Risultati ottenuti. **1)** 1 lavoro ad un congresso internazionale (IMEKO2021) e 1 articolo su rivista internazionale. Si è realizzato un corso (tutorial e-learning) che sarà disponibile sul sito del progetto QuantumPascal. **2)** La realizzazione del sistema UINT è stata completata e si è avviata la relativa caratterizzazione metrologica. La tecnica di interferometria a multi-riflessione su cui è basato il sistema UINT è stata descritta in un corso (tutorial e-learning) che sarà disponibile sul sito del progetto QuantumPascal.

Vibrazioni

Obiettivi. **1)** *Mise-en-pratique* di sistemi primari di taratura per le accelerazioni dinamiche, e per confronto per lo *shock* di sensori accelerometrici triassiali MEMS/NEMS digitali. **2)** Sviluppo di un sistema di taratura per basse frequenze (sismica). **3)** Definizione di modelli statistici per la taratura a campione di MEMS digitali e riferibilità reti di sensori. **4)** Caratterizzazione di proprietà meccaniche di metamateriali ad indice di rifrazione negativo e/o coefficiente di Poisson negativo.

Attività svolta. **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). **2)** Sviluppo e *mise-en-pratique* di un sistema di taratura per sismometri (da 30 Hz fino a 0.03 Hz). **3)** Realizzazione di piani sperimentali di campionamento per la taratura di accelerometri MEMS digitali su larga scala. **4)** Nell'ambito del progetto PRIN2017 si sono determinate le proprietà di attenuazione di onde elastiche, in materiali a struttura periodica, tra 1 Hz e 10 kHz.

Risultati ottenuti. **1)** *Mise-en-pratique* del sistema di taratura primario di accelerazioni dinamiche per sensori digitali e collaudo del sistema di taratura per confronto a shock per sensori digitali. **2)** Determinazione della sensibilità di sismometri fino a 0.03 Hz. **3)** Studio di fattibilità di taratura su base "statistica" e definizione di riferibilità a rete di sensori. **4)** Determinazione della attenuazione delle onde di pressione in tubo ad impedenza.

Forza

Obiettivi. **1)** Studio del vettore forza (nelle sue varie componenti) per la definizione di nuove metodologie di misura. **2)** Analisi dei vari fattori di influenza della misura e nella realizzazione dei campioni di forza.

Attività svolta. **1)** Sono state sviluppate metodologie innovative per la taratura di macchine di prova multicomponenti (EMPIR 18SIB08 ComTraForce - *Comprehensive traceability for force metrology services*).

Risultati ottenuti. **1)** Nuovi metodi di misura e taratura delle macchine di prova nel settore multicomponenti. **2)**

1 lavoro presentato ad un congresso internazionale ed 1 articolo su rivista internazionale nel settore della dinamometria multicomponente.

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.

Attività svolta. **1)** Analisi fattori d'influenza delle misure di durezza HRC e HR15N, HR30N e HR45N. **2)** Studi sulla prova di penetrazione strumentata e misure con il durometro primario.

Risultati ottenuti. **1)** Report sui coefficienti di sensibilità delle misure di durezza di prossima pubblicazione su riviste internazionali e relazione finale tirocinio di uno studente del Politecnico di Torino. **2)** 2 articoli su riviste internazionali: i) determinazione proprietà meccaniche delle leghe metalliche con la prova di penetrazione strumentata e ii) sviluppo delle definizioni delle scale di durezza per gli NMI.

Gravità

Obiettivi. **1)** Miglioramento dell'esperimento della caduta libera dei gravi alla base del gravimetro assoluto trasportabile IMG02-02. **2)** Partecipazione alla realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero.

Attività svolta. **1)** Preparazione attività per un progetto PRIN per la realizzazione della rete gravimetrica italiana di ordine zero. **2)** Studio per l'applicazione di sensori MEMS per la misura assoluta dall'accelerazione di gravità

Risultati ottenuti. **1)** Approvazione progetto PRIN. **2)** Lavoro presentato ad un congresso internazionale.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Massa

Obiettivi. **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.

Attività svolta. **1)** Gestione e mantenimento della scala di massa. **2)** Organizzazione ILC. **3)** Attività di taratura

Risultati ottenuti. **1)** Revisione della procedura tecnica taratura campioni di massa. **2)** Ricevuto visita *Peer Review* al laboratorio (Progetto EURAMET 1123). **3)** Eseguito *Peer Review* al laboratorio Masse dell'IPQ, Portogallo (Progetto EURAMET 1123). **4)** Certificati di taratura N. 75 e relazioni di ILC N. 30.

Densità

Obiettivi. **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).

Attività svolta. **1)** Sono state eseguite le misure per il confronto. L'INRiM assieme al PTB è stato il laboratorio di link al confronto CCM.D-K4. E' stato redatto il rapporto del confronto.

Risultati ottenuti. **1)** Il rapporto del confronto EURAMET. MD-K4. 2020 è stato pubblicato sulla rivista Metrologia. **2)** Certificati di taratura N. 14 tra cui 6 per l'istituto metrologico croato DZM.

Portate e Volumi di liquidi

Obiettivi. **1)** Estensione del campo di misura a valori inferiori di 40 L/h.

Attività svolta. **1)** Revisione della procedura tecnica volumi di liquidi. **2)** Partecipazione al confronto EURAMET 1525 "Evaluation of repeatability measurement procedures in gravimetric volume calibrations of glassware".

Risultati ottenuti. **1)** Certificati di taratura N. 11 e relazioni di ILC N. 2. **2)** Pubblicazione revisione guida EURAMET CG 21. **3)** Pubblicati risultati confronto EURAMET 1452 su serbatoi da 20 L, 50 L e 250 L.

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.

Attività svolta. **1)** sviluppo software impianto MicroGas. **2)** sviluppo software impianto BellGas. **3)** implementazione sistema di controllo MeGas. **4)** sviluppo metodi di adimensionalizzazione per portate delle fughe. **5)** calcoli preliminari per Confronto. **6)** effettuate misure per Confronto AFRIMETS **7)** N/A

Risultati ottenuti. **1)** software impianto MicroGas V2.0 pronto per validazione, V2.1 in preparazione. **2)** software impianto BellGas V1.0 pronto per validazione. **3)** sistema di controllo impianto MeGas pronto per prime prove. **4)** metodo di adimensionalizzazione preliminare in via di test. **5)** calcoli preliminari per Confronto effettuati **6)** effettuate misure per Confronto AFRIMETS.

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.

Attività svolta. **1)** Disseminazione della grandezza pressione; organizzazione ed esecuzione di confronti interlaboratorio; attività ruolo NMI in ambito internazionale. **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 nel range di pressione tra 5×10^{-4} Pa e 1000 Pa;

Risultati ottenuti. **1)** 41 certificati di taratura in mezzo gassoso e liquido; 2 ILC avviati, 33 relazioni emesse. Si sono presentate le attività della grandezza Pressione durante il meeting del CCM WG PV (14-16 aprile 2021), a seguito del quale è stata confermata la membership dell'INRiM. Partecipazione meeting TC-M SC Pressure: INRiM sarà pilota di un confronto internazionale in ambito vuoto. **2)** Ultimato miglioramento sistema ad espansione statica. Eseguito confronto di misura interno con esito positivo. Ultimata la realizzazione di un software per la taratura automatica di vacuometri spinning rotor.

Vibrazioni

Obiettivi. **1)** Riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e a reti di sensori e definizione della sensibilità "digitalizzata". **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.

Attività svolta. **1)** Sviluppo di sistema di taratura a eccitazione monoassiale per 3 assi simultanei. **2)** Sviluppo sistema di taratura sismometri fino a 0.03 Hz.

Risultati ottenuti. **1)** Riferibilità a sensori accelerometrici MEMS/NEMS digitali e a reti di sensori e definizione della sensibilità "digitalizzata". **2)** Riferibilità per sismometri fino a 0.01 Hz sulla base delle indicazioni del documento BIPM "Strategy 2019 to 2029" del CCAUV.

Forza

Obiettivi. **1)** Miglioramento della disseminazione delle misure di forza multicomponenti. **2)** Miglioramento dei campioni primari. **3)** Attività di *peer visit* o di accreditamento di NMI stranieri. **4)** Organizzazione di ILC.

Attività svolta. **1)** Sono stati implementati nuovi metodi di caratterizzazione metrologica dei trasduttori multicomponenti tramite piani inclinati. **2)** Sono stati studiati nuovi sistemi di controllo delle macchine campione di forzi. **3)** E' stato organizzato un ILC nel settore delle tarature delle macchina di prova di forza uniassiali.

Risultati ottenuti. **1)** Report tecnici progetto EMPIR ComTraForce e nuove metodologie di misure multicomponenti. **2)** Inizio realizzazione nuovi sistemi di controllo delle macchine campione di forza (1,3 kN, 30 kN, 100 kN, 1 MN) e partecipazione al KC CCM.F.K-23. **3)** Esami documentali e ispezioni tecniche. **4)** Partecipazione gruppi di lavoro e riunioni degli organismi internazionali (CCM-WGF, EURAMET TC-M).

Durezza

Obiettivi. **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.

Attività svolta. **1)** Studio di un nuovo microdurometro in collaborazione con la LTF e miglioramento di alcune CMC. **2)** Partecipazione ed organizzazione di Key e Supplementary comparison.

Risultati ottenuti. **1)** Messa in funzione del nuovo microdurometro, presentazione nuove CMC dei penetratori di diamante Vickers e dei penetratori di diamante Knoop. **2)** Partecipazione ai gruppi di lavoro e alle riunioni degli organismi internazionali del settore (CCM-WGH, EURAMET TC-M). **3)** Pubblicazione di 5 articoli su riviste internazionali relativi ai risultati dei Key e Supplementary comparison.

Gravità

Obiettivi. **1)** Campagne di misura. **2)** Miglioramento e sviluppo delle CMC attuali. **3)** Attività di *peer review* presso altri NMI.

Attività svolta. **1)** analisi del sistema di controllo e modifica per la sostituzione di hardware obsoleto.

Risultati ottenuti. **1)** nuovo hardware per il gravimetro assoluto trasportabile.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Massa

Obiettivi. **1)** Organizzazione di corsi per la taratura di campioni di massa rivolti ai laboratori ACCREDIA e attività di consulenza. **2)** Partecipazione al Tavolo di lavoro "Strumenti per pesare" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. **3)** Consulenza per la ditta SNAM RETE GAS per i software utilizzati per l'analisi del gas metano attraverso misure gascromatografiche. **4)** Attività di ispezione tecnica per ACCREDIA e enti di accreditamento stranieri.

Attività svolta. **1)** Sono state svolte attività di consulenza per laboratori ACCREDIA **2)** Si è partecipato alle riunioni organizzate dal MISE per la preparazione delle schede tecniche di verifica periodica. **3)** Sono state svolte visite ispettive a laboratori di taratura per conto di ACCREDIA.

Risultati ottenuti. **1)** Attività conto terzi. **2)** Sono state preparate le schede per le procedure di verifica periodica per le bilance a funzionamento automatico per l'applicazione DM93/2017. **3)** E' stato stipulato un contratto di consulenza con la ditta SNAM della durata di due anni.

Portate di Liquidi

Obiettivi. **1)** Partecipazione al Tavolo di lavoro "Sistemi misurazione liquidi diversi dall'acqua e gas metano per autotrazione" e al Tavolo di lavoro "Utility Meter" per conto del MISE nell'ambito dell'applicazione del DM93/2017. **2)** 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.

Attività svolta. **1)** Si è partecipato alle riunioni organizzate dal MISE per la preparazione delle schede tecniche di verifica periodica. **2)** Sono state svolte visite ispettive a laboratori di taratura per conto di ACCREDIA.

Risultati ottenuti. **1)** Sono state preparate le schede per le procedure di verifica periodica per i distributori di GPL e di metano, e per le autobotti per combustibili. **2)** Bozza schede tecniche per contatori di calore e contatori per l'acqua per applicazione DM93/2017. **3)** Attività conto terzi.

Portate e Volumi di gas

Obiettivi. **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.

Attività svolta. **1)** discussioni preliminari con varie Ditte. **2)** effettuati esami documentali e valutazioni su Campo

Risultati ottenuti. **1)** 1 estensione e 4 sorveglianze, in corso di sviluppo 2 nuovi accreditamenti, 1 estensione e 2 rinnovi.

Pressione

Obiettivi. **1)** Divulgazione delle nuove tecniche per la realizzazione di campioni di pressione.

Attività svolta. **1)** Organizzazione ed esecuzione di un meeting on line con i laboratori accreditati nell'ambito della grandezza Pressione

Risultati ottenuti. **1)** Presentazione ricerche sulle nuove realizzazioni del pascal in fase di sviluppo presso l'INRiM al meeting della comunità italiana di riferimento. Definite le esigenze degli ILC da eseguire.

Vibrazioni

Obiettivi. **1)** Implementazione di punti della "Strategy 2019 to 2029" del CCAUV.

Attività svolta. **1)** studio fattibilità sistema di taratura triassiali e campionamento statistico per il trasferimento.

Risultati ottenuti. **1)** divulgazione degli aspetti innovativi della sensoristica per vibrazioni basata su MEMS/NEMS digitali e taratura meccanica di sismometri a bassissima frequenza (0.01 Hz – 1 Hz), taratura su larga scala e resti di sensori.

Forza, Durezza, Gravimetria

Obiettivi. **1)** Divulgazione delle nuove tecniche per la realizzazione di campioni di forza e durezza. **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.

Attività svolta. **1)** 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 ottenuti. **1)** 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.

Settore AE2 – Metrologia della lunghezza
Responsabile: Marco Pisani

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Astrua Milena ⁽¹⁾	3,00	3,00	2,00	0,00	0,00	8,00
Audrito Emanuele	5,00	5,50	0,00	0,00	0,50	11,00
Balsamo Alessandro	4,00	1,00	2,00	3,00	1,00	11,00
Bellotti Roberto	5,00	5,00	0,00	0,00	1,00	11,00
Bisi Marco	4,00	7,00	0,00	0,00	0,00	11,00
Corona Davide ⁽²⁾	4,00	4,00	0,00	0,00	1,00	9,00
Egidi Andrea ⁽³⁾	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Franco Mauro ⁽⁴⁾	2,00	8,00	0,00	0,00	0,00	10,00
Mana Giovanni ⁽⁵⁾	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Mari Domenico ⁽⁶⁾	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
Massa Enrico	8,00	1,50	0,00	1,50	0,00	11,00
Piccato Aline ⁽⁷⁾	5,00	0,00	0,00	0,00	5,00	10,00
Picotto Gian Bartolo ⁽⁸⁾	4,00	3,00	1,00	1,00	0,00	9,00
Pisani Marco	5,00	1,00	2,00	1,00	2,00	11,00
Santiano Marco ⁽⁹⁾	3,00	6,00	0,00	0,00	0,00	9,00
Sasso Carlo Paolo	7,00	0,00	0,00	2,00	0,50	9,5
Zucco Massimo ⁽¹⁰⁾	3,00	2,00	3,00	0,00	0,00	8,00
Ribotta Luigi ⁽¹¹⁾						
Personale TD						
Egidi Andrea (TI da dicembre)	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00
Giura Andrea	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
<i>Tot.</i>	85	47	10	8,5	11	161,5
PhDs						
Ribotta Luigi ⁽¹¹⁾	9,00					9,00
Personale associato						
Mana Giovanni ⁽⁵⁾	1,00	0,00	0,00	2,00	0,00	3,00
<i>Tot.</i>	10	0	0	2	0	12
Totale	95	47	10	10,5	11	173,5

⁽¹⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE01

⁽²⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE03

⁽³⁾ presa di servizio a dicembre 2021

⁽⁴⁾ in quiescenza da luglio 2021

⁽⁵⁾ in quiescenza da dicembre 2021

^{(6),(7)} frazione restante mesi/persona impegnata in AE01

⁽⁸⁾ in quiescenza da novembre 2021

⁽⁹⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE01 e in ML4

⁽¹⁰⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in ML4

⁽¹¹⁾ in aspettativa, in quanto dottorando

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Interferometria X/ottica (COXI)

Obiettivi. 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

Attività svolta. 1) Progetto, realizzazione e installazione presso la linea S18 dell'ILL di Grenoble di una tavola per la ricombinazione su 5 GdL dei cristalli separati di un interferometro a neutroni, in collaborazione con la

TU Wien e l'ILL. **2)** L'allestimento del nuovo laboratorio per l'interferometria X è stato interrotto a causa di alcuni imprevisti riscontrati durante il collaudo, che ha richiesto una puntuale attività di verifiche funzionali a fianco della ditta assegnataria dei lavori. **3)** La riferibilità al metro è stata realizzata mediante due sorgenti Nd-YAG duplicate e stabilizzate, una di queste secondo la tecnica *Modulation Transfer Spectroscopy*

Risultati ottenuti. **1)** Sono state osservate per la prima volta le frange di interferenza in un interferometro a neutroni a cristalli separati, dimostrando la possibilità di estendere la fisica quantistica esplorabile tramite questo tipo di interferometria. **2)** 5 pubblicazioni su riviste indicizzate e con *peer review* e un capitolo di libro (*Proceeding* della Scuola Internazionale E. Fermi di Varenna).

Metrologia dimensionale e a coordinate

Obiettivi. Realizzazione di strumenti, sviluppo di tecniche di misura nel campo della metrologia dimensionale allo scopo di estendere le capacità di misura, ridurre l'incertezza, affrontare nuove esigenze della ricerca e dell'industria

Attività svolta. **1)** Realizzazione di un prototipo ottico per misure dinamiche per macchine di lavorazione meccanica (progetto EMPIR LaVA). **2)** Realizzazione di prototipo dimostratore del termometro acustico compatto da campo per ambienti ostili e relativa campagna di test in camera climatica nel campo (-30 +55) °C (in collaborazione con AE05). **3)** Analisi del confronto sulle misure della velocità del suono in aria con due metodi indipendenti in camera anecoica (in collaborazione con AE04, progetto EMPIR Geometre). **4)** Conclusione del progetto EMPIR EUCoM (risultati scientifici e incombenze amministrative del coordinatore).

Risultati ottenuti. **1)** Riduzione dell'incertezza nella conoscenza della velocità del suono in aria a 100 ppm. **2)** Tre metodi per la valutazione dell'incertezza a coordinate di applicabilità industriale. **3)** Secondo prototipo per misure dinamiche di rettilineità su macchine. **4)** Avvio EMN AdvanceManu (con ruolo INRiM vice presidenza). Pubblicazione su riviste internazionali di due articoli inerenti i risultati del progetto EUCoM.

Nanometrologia e metrologia delle superfici

Obiettivi. Sviluppo di metodi di misura e strumenti riferibili a supporto delle nanotecnologie e dalla ricerca alla micro- e nano-scala.

Attività svolta. Studio AFM di nanoparticelle a geometria complessa (Dottorato di Ricerca 3° anno). Avviato aggiornamento AFM per estensione capacità di misura alle caratterizzazioni meccaniche, elettriche alla nanoscala. Sviluppo setup interferometro differenziale integrato nella testa AFM.

Misure ottiche di forma e finitura superficiale di denti di ingranaggi e di un settore di anello (progetto EMPIR Met4Wind) con profilometro ottico e tastatore interferometrico, ed associate criticità. Avviato il progetto EMPIR TracOptic con un confronto dei metodi di mosaico delle immagini ottiche del profilometro.

Misure sul setup differenziale dei sensori capacitivi a multielettrodo con nuova elettronica di misura. Caratterizzazione dinamica di tastatori a contatto (stilo), progetto EMPIR ProbeTrace.

Risultati ottenuti. Nuovi metodi AFM per dimensioni critiche di nanoparticelle (invio a rivista di 2 articoli). Nuovo set-up interferometro asse Z per microscopio mAFM.

Metrologia delle lunghe distanze

Obiettivi. Sviluppo di metodi e strumenti per la metrologia su grandi distanze (> 10 m) con incertezze < 10⁻⁶.

Attività svolta. Realizzazione di prototipo di termometro acustico per ambienti industriali fino a 50 m con capacità di misura del gradiente verticale testato nella galleria 8 (progetto EMPIR LaVA). Prototipo per basi geodetiche (progetto EMPIR Geometre) fino a 200 m in *open space*.

Risultati ottenuti. Prototipi pronti per i confronti previsti nei rispettivi progetti nel 2022

Metrologia per l'aerospazio

Obiettivi. Attività di ricerca, sviluppo, prototipazione a supporto della industria aerospaziale.

Attività svolta. Realizzazione banco di misura per test dell'interferometro per la *next generation gravity mission* realizzato da Space Technologies (STI), contratto ESA PoC NGGM e relativa campagna di misure. Allestimento di stazione per misura di *shock* per *payload* spaziali con accelerazioni fino a 2000 g (collaborazione con AE01). Progetto e realizzazione di proiettore solare e di proiettori di costellazioni per test funzionali di *star tracker* (progetto VIR Orione). Progetto e supporto alla realizzazione di stazione di taratura per *star tracker* con accuratezza di 10 arcsec (progetto ASTRA). Attività di design, simulazione e *proof of concept* per sensore ottico per satellite di telecomunicazione (contratto ESA ATOM). Campagna di misura per la caratterizzazione di un prototipo di sensore di assetto (giroscopi, accelerometri e inclinometri) per aeromobili realizzato dal Politecnico di Torino (contratto SAIFE, in collaborazione con AE01). Progetto di missione Cubesat dimostratore dell'accelerometro LIG-A basato su interferometro in ottica integrata.

Risultati ottenuti. Prototipi, *facilities*, attivazione nuovi contratti con PoliTo, EICAS, ESA. Possibile proseguimento del contratto LIG-A con studio di missione "Pre Phase-A" finanziato da ESA.

Realizzazione del kilogrammo secondo il nuovo SI (in collaborazione con AE01 e AE03)

Obiettivi. Realizzazione di nuovo campione primario per piccole masse secondo la definizione del nuovo SI.

Attività svolta. Acquisizione e collaudo della strumentazione chiave per la realizzazione dell'esperimento. Progetto della prima fase del prototipo.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Metrologia dimensionale

Obiettivi. Mantenimento campioni. Partecipazione e coordinamento di key comparison, realizzazione nuove stazioni di taratura e ottimizzazione delle esistenti, stesura nuove CMC, riattivazione di CMC sospese e estensione di CMC esistenti. Svolgimento dei *task* specifici entro le organizzazioni i comitati e i *network* i cui è garantita la rappresentanza o il coordinamento.

Attività svolta. Caratterizzazione di encoder angolare che sarà utilizzato per il primo confronto internazionale sugli encoder proposto e coordinato da INRiM. Addestramento personale TD in formazione in sostituzione di personale in pensione dal 2021. Sviluppo nuova stazione di taratura per i potenziometri angolari semi-automatica che permette di ridurre il tempo di taratura di un fattore 10, liberando risorse umane: la procedura è stata aggiornata di conseguenza. Installato nuovo misuratore di lunghezza d'onda per la stazione di misura dei blocchetti corti.

Risultati ottenuti. Pubblicazione Rapporto Finale confronto EURAMET.L-K4.2015 (coordinamento INRiM, 21 NMI e DI partecipanti) sui campioni diametrali, confermate le CMC INRiM. Avvio confronto K3 (coordinamento INRiM) sui campioni angolari (22 paesi, due circolazioni parallele). Pubblicazione del Rapporto Finale confronto EURAMET.L-K1.2019 sui blocchetti corti, confermata CMC. Pubblicazione della revisione CMC sui calibri a passi con minore incertezza ed estesa capacità di misura. Revisione di tutte le procedure del settore. Partecipazione con successo alla *peer review*.

Nanometrologia e metrologia delle superfici

Obiettivi. Realizzazione di nuovi campioni 3D alla nanoscala, nuove capacità di misura (CMC), stesura di linee guida e partecipazione e coordinamento di confronti.

Attività svolta. Realizzazione di un nuovo setup interferometrico differenziale per la taratura di trasduttori per micro/nanospostamenti, con la parte mobile del trasduttore orientata lungo l'asse Z o l'asse X del setup stesso. Sviluppo del software per la taratura statica e dinamica di trasduttori di spostamenti fino a 500 μm . 8 certificati.

Risultati ottenuti. Pubblicazione Nuova CMC su particelle quasi sferiche.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi. Partecipazione attiva nei comitati normatori. Attività di formazione e di divulgazione scientifica.

Attività svolta. Organizzazione di due edizioni dei seminari InTeRSeC (40 e 41) e di due tutorial organizzati dal CMM Club Italia. Co-editor Metrologia. Attività di tutoraggio studenti universitari e scuole superiori; Referaggio articoli su rivista internazionale; Attività di normazione ISO, fra cui il coordinamento del WG 4 e la partecipazione in numerosi altri (membership ISO/TC213 WG16); Referaggio progetti (PRIN 2021).

Risultati ottenuti. Conclusione del progetto di revisione della norma ISO 1 (coordinamento INRiM) con la consegna del testo FDIS (in attesa di voto). Due seminari e due workshop per imprese e studenti (286 presenze in totale). Seminario divulgativo su progetto EUCoM con sessione internazionale e nazionale. Video divulgativi INRiM.

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

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Bellavia Luciano	4,40	1,10	5,30	0,20	0,00	11,00
Capra Pier Paolo	3,50	3,50	3,00	0,00	1,00	11,00
Corona Davide ⁽¹⁾	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Francese Claudio ⁽²⁾	4,50	4,50	0,00	0,00	0,00	9
Francone Fulvio	6,00	5,00	0,00	0,00	0,00	11
Galliana Flavio	5,00	3,00	3,00	0,00	0,00	11
Lanzillotti Marco	1,10	2,20	5,50	0,00	2,20	11
Mihai Iulian	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Roccatò Paolo Emilio ⁽³⁾	3,90	2,20	3,80	0,60	0,50	11
Roncaglione Tet Luca	1,0	2,0	4,50	0,00	3,50	11
Personale TD						
Virano Gianluca	1,50	1,50	7,80	0,20	0,00	11
<i>Tot.</i>	43,9	25	32,9	1	7,2	110
Assegni ricerca						
Caria Stefano	5,00	0,50	0,00	0,50	0,00	6
Personale associate						
Cerri Roberto	1,00	2,00		0,00	0,00	3
Duraccio Donatella	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
<i>Tot.</i>	8	2,5	0	0,5	0	11
Totale	51,9	27,5	32,9	1,5	7,2	121

⁽¹⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE02

⁽²⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE02

⁽³⁾ ASPP

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Misure di resistenza elettrica

Obiettivi. Sviluppo di nuovi sistemi di misura nel campo della metrologia elettrica primaria in regime continuo. Attività di ricerca nel campo di nuovi materiali polimerici caratterizzati con misure elettriche.

Attività svolta. Studio e predisposizione di un sistema per la riferibilità della resistenza dc a partire da riferimenti a 100 ohm e 10 kohm ultra-stabili tarabili presso un qualsiasi NMI contro QHE & CCC. Il metodo prevede una semplificazione del procedimento ancora attualmente impiegato basato su tecniche potenziometriche. Il nuovo metodo riduce il numero di misure e di apparati di trasferimento.

Continuano le attività di ricerca volte alla caratterizzazione di polimeri funzionalizzati per applicazioni industriali, automotive e medicali. Sono state fatte misure di alta resistenza su diversi materiali prodotti in collaborazione con il CNR e il Politecnico di Torino. È stato progettato un sistema per la polarizzazione ad alta tensione dc di resine polimeriche per lo studio degli effetti sui materiali utilizzati per le funzionalizzazioni.

Risultati ottenuti. Metodi semplificati e con incertezze migliori nel campo della metrologia primaria in regime continuo. Primi risultati delle attività di ricerca sui polimeri promettenti per varie applicazioni, soprattutto industriali. Pubblicazioni su rivista e report INRiM.

Campione nazionale di tensione continua

Obiettivi. Progettazione e sviluppo di software innovativi per le attività metrologiche basate di macchine virtuali. Realizzazione di strumentazione per la generazione di grandezze elettriche in regime continuo riferibili.

Attività svolta. Predisposizione di una stazione di misura per il confronto delle caratteristiche di linearità di multimetri digitali di precisione. L'attività proseguirà con la sperimentazione eseguita su multimetri tarati presso il METAS sia per la messa in punto dei generatori di tensione a basso rumore, sia per le verifiche delle incertezze ottenibili. Versione sperimentale del software impiegato per le attività di Taratura e Certificazione svolte nel laboratorio Cp004 del Campione Nazionale di Tensione Continua. L'attività è finalizzata alla realizzazione di sistema modulare per la produzione, archiviazione ed uso dei dati di misura per l'emissione di Certificati di Taratura in modalità automatica e non presidiata a vantaggio della continuità del servizio e della

migliore ripetibilità dei risultati conformemente ai criteri adottati del sistema di Qualità INRiM.

Risultati ottenuti. Risultati preliminari della strumentazione costruita, del software e dei firmware sviluppati che, sulla base delle prime sperimentazioni, hanno dimostrato le potenzialità indicate in fase di progetto. Pubblicazioni su rivista e report INRiM.

Alte tensioni e forti correnti

Obiettivi. Standardizzazione e riferibilità nel campo delle alte tensioni composite e combinate.

Nell'ambito del progetto europeo 19NRM07 HV-com² a sostegno della standardizzazione nelle prove ad alta tensione con forme d'onda composite e combinate, è stato sviluppato presso l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) ed è attualmente in fase di test approfonditi.

Attività svolta. Studi del fenomeno in sistemi equivalenti in bassa tensione ai fini della caratterizzazione dei sistemi di misura, divisori, schede di acquisizione e software (progetto EMPIR HV-com²).

Dopo una fase di simulazione, un divisore disponibile è stato modificato per conformarsi ai requisiti IEC 60060 in termini di risposta al gradino e fattore di scala. Il divisore è stato calibrato con tracciabilità alle Norme Nazionali INRiM di riferimento e caratterizzato sfruttandone il fattore di scala a diverse tensioni e frequenze. Il divisore è stato quindi inserito in un allestimento con generatore sinusoidale, generatore di impulsi ed elementi di blocco dell'accoppiamento per effettuare prove a basse tensioni (inferiori a 1 kV) con singole tensioni.

Risultati ottenuti. Nei test effettuati il divisore ha mostrato caratteristiche soddisfacenti come dispositivo di conversione e il suo fattore di scala è tracciabile con opportuna incertezza. Risultati delle attività sperimentali pubblicate su rivista.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Campione nazionale di tensione continua

Obiettivi. Realizzazioni Hardware e software nel campo della metrologia della tensione continua.

Attività svolta: progettazione di una nuova stazione di taratura e di caratterizzazione delle sorgenti di tensione continua completamente automatizzata e in grado di effettuare intere campagne di misura in completa autonomia. Sono state effettuate importanti modifiche alle procedure tecniche di misura. E' stata inoltre riprogettato un sistema per la determinazione della linearità dei multimetri di precisione.

Caratterizzazione nano-divisore di tensione continua automatico di elevata accuratezza per generazione di basse tensioni continue con rapporti decadici da 10:1 a 10⁷:1. Il sistema si tara facilmente mediante con un calibratore di precisione e un multimetro tarato. Il sistema presenta aspetti innovativi, tra i quali la valutazione dell'impedenza di ingresso del DMM, per la determinazione degli effetti del carico dello strumento, e una soluzione per ridurre l'effetto termici emfs dei contatti dei relè di commutazione dei segnali.

Risultati ottenuti. La nuova stazione automatica di taratura delle sorgenti allo stato solido presenta una più semplice gestione delle operazioni di taratura, di archiviazione dei dati e di certificazione. Il nuovo software consentirà inoltre la possibilità di adattarsi più facilmente a variazioni procedurali e ad attività di ricerca e sviluppo. Il nano-divisore, che attualmente mostra incertezze nel range da 6,1×10⁻⁷ a 5,9×10⁻⁴, si presta, al termine della sperimentazione, alla taratura di strumentazione programmabile con particolare riferimento alle portate di basso valore. Il sistema di misura della linearità dei multimetri aggiunge, alle tecnologie di taratura dei multimetri in essere, una importante fase di caratterizzazione a beneficio delle incertezze ottenibili con metodologie di misura per sostituzione.

Misure di resistenza elettrica

Obiettivi. Miglioramento della definizione del comportamento dei campioni di resistenza elettrica utilizzati nel trasferimento della riferibilità verso i laboratori secondari.

Attività svolta. Stazione per la caratterizzazione dei coefficienti di temperatura di resistori campione nel range 1 ohm – 10 kohm. La stazione automatica deriva, con delle modifiche hardware e software, da un sistema già impiegato per la taratura dei resistori campione. Operativamente è possibile determinare con precisione il coefficiente di temperatura nel campo di valori compreso tra 18 e 28 °C in meno di una settimana per 6 campioni contemporaneamente e in modo completamente automatico.

Risultati ottenuti. La nuova stazione di misura consente la caratterizzazione completa dei resistori campione verso la temperatura, con la possibilità sia di poter adottare algoritmi di correzione efficaci, sia di calcolare in modo più accurato l'incertezza di misura.

Area taratura e caratterizzazione di strumentazione multifunzione

Obiettivi. Miglioramento ed estensione dell'offerta metrologica nel campo delle tarature di strumentazione multifunzione.

Attività svolta. Completa revisione delle procedure tecniche per miglioramento dell'offerta metrologica e delle CMC dichiarate. Continua la progettazione per la completa taratura della strumentazione multifunzione di nuova produzione

Risultati ottenuti. Miglioramento delle CMC dichiarate e migliore razionalizzazione delle procedure tecniche

applicare.

Trasferimento ac/dc e Taratura misuratori in regime alternato

Obiettivi. Predisposizione per l'emissione di nuove CMC e razionalizzazione delle procedure impiegate per le tarature in regime alternato.

Attività svolta. Analisi delle procedure di misura sia nel campo del mantenimento dei campioni materiali sia nell'offerta metrologica per le tarature della strumentazione dei centri LAT. Nuove procedure di *Step-up* per il *refresh* delle scale decadiche delle grandezze alternate e miglioramento delle capacità di misura del laboratorio. Analisi e predisposizione per l'emissione di nuove procedure di corrente in ca.

Risultati ottenuti. Miglioramento delle capacità tecniche di misura del laboratorio e predisposizione per l'emissione di nuove CMC in corrente alternata.

CMC e ILC

Obiettivi. Fornire confronti di misura nel campo delle misure elettrica in bassa frequenza sia come gestore che come esecutore delle misure di riferimento.

Attività svolta.

- ILC multilaterale (9 LAT) su DMM elevata precisione (5 grandezze elettriche bassa frequenza (concluso);
- ILC multilaterale (5 LAT) su cassetta resistiva di elevata resistenza elevata precisione (concluso);
- ILC multilaterale (6 LAT) su calibratore elevata precisione (5 grandezze elettriche bassa frequenza (ancora in corso);
- ILC bilaterale (1 LAT) capacità e induttanza su condensatori e induttori, misure riferimento QN (concluso);
- ILC bilaterale (1 LAT) Potenza elettrica monofase su calibratore di potenza, misure riferimento QN (concluso).

Risultati ottenuti. Si conferma la posizione dell'INRiM in qualità di fornitore e riferimento per le attività di supporto ai centri di taratura con significative partecipazioni a ILC promossi nel corso dell'anno.

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.

Attività svolta. **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)** Analisi preliminare delle necessità per la realizzazione della rete.

Risultati ottenuti. **1)** Ottimizzazione degli spazi di laboratorio. **2)** Predisposizione di un progetto preliminare.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Misure Elettriche ed Elettroniche

Obiettivi. Sviluppo di *facilities* previste nell'ambito di una convenzione INRiM-MISE. Attività didattica nel campo della metrologia.

Attività svolta. Sviluppo di sistema di misura per la verifica di contatori in condizioni di regime distorto nell'ambito della Convenzione INRiM-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". - Studio dell'influenza delle sollecitazioni termiche sulle connessioni crimpate per realizzazione di cavi di connessione elettrica ad alte prestazioni.

Svolta attività didattica a vantaggio del personale tecnico dei centri LAT, su argomenti di interesse per la metrologia delle grandezze elettriche, sulle normative di riferimento e sulla gestione dei laboratori.

Risultati ottenuti. Risultati ottenuti dalle attività sperimentali documentati con pubblicazioni

Alte tensioni e forti correnti

Obiettivi. **1)** Realizzazione di aree confinate adatte a prove e caratterizzazioni in ambito di generazione rinnovabile e nuove tecnologie sostenibili. **2)** Realizzazione di una facility per prove termiche di lunga durata

Attività svolta. **1)** Analisi 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. **2)** Sviluppo preliminare 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.

Risultati ottenuti. **1)** Valutazione dei requisiti per l'ampliamento ed adeguamento alle richieste industriali dei servizi di prova offerti. **2)** Parziale allestimento e realizzazione del laboratorio prove di lunga durata.

Settore AE4 – Termodinamica fisica
Responsabile: Roberto Gavioso

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Bertiglia Fabio	1,10	7,70	2,20	0,00	0,00	11
Braccialarghe Giuseppe	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	11
Cuccaro Rugiada	7,00	2,50	0,50	0,00	1,00	11
Dematteis Roberto	2,00	8,00	0,00	1,00	0,00	11
Fernicola Vito Claudio	4,00	4,00	0,50	1,00	1,50	11
Florio Michael ⁽¹⁾	2,00	8,00	1,00	0,00	0,00	11
Gavioso Roberto	8,00	0,00	0,00	1,00	2,00	11
Girard Ferruccio	3,00	7,00	1,00	0,00	0,00	11
Giraudi Domenico	0,80	1,80	0,00	0,00	1,80	4,4
Giuliano Albo Paolo Alberto	7,00	1,00	3,00	0,00	0,00	11
Iacomini Luigi	0,00	3,00	2,00	1,00	5,00	11
Imbraguglio Dario	0,5	0,5	0,00	0,00	0,00	1
Lago Simona	8,00	1,00	2,00	0,00	0,00	11
Lopardo Giuseppina	4,00	6,00	0,00	1,00	0,00	11
Madonna Ripa Daniele	9,00	1,00	0,00	1,00	0,00	11
Rosso Lucia	10,00	0,00	1,00	0,00	0,00	11
Smorgon Denis	2,00	2,00	5,50	1,00	0,50	11
Personale TD						
Beltramino Giulio	0,5	0	0	0	0	0
Imbraguglio Dario ⁽²⁾	4,50	4,50	1,00	0,00	0,00	10
<i>Tot.</i>	73,4	69	19,7	7	11,8	180,4
Assegni ricerca						
Beltramino Giulio (TD da dicembre 2021)	10,5	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00
Cavuoto Giuseppe	8,00	0,00	3,00	0,00	0,00	11
Romeo Raffaella ⁽³⁾	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7
Personale associato						
Bussa Maria Pia	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1
Steur Petrus Paulus Maria	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	4
<i>Tot.</i>	27,5	2	3	0	1	34
Totale	100,9	71	22,7	7	12,8	214,4

⁽¹⁾ ASPP

⁽²⁾ assunto a tempo indeterminato a partire da Dicembre 2021

⁽³⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE01

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Nel 2021 l'attività di ricerca del settore ha prodotto 9 pubblicazioni su rivista internazionale.

Termometria primaria e sviluppo di sensori di temperatura e di metodi termometrici innovativi

Obiettivi. Sviluppo di metodi di termometria primaria acustici (AGT), a microonde (RIGT) e radiometrici volti a favorire la disseminazione della temperatura termodinamica, la revisione della Scala Internazionale di Temperatura (ITS-90), e a valutare la riproducibilità di punti fissi eutettici metallo-carbonio (M-C). Sviluppo di sensori di temperatura, dispositivi e metodi di misura della temperatura innovativi, fra i quali termometria a fotoluminescenza e *whispering gallery*, per applicazioni di ricerca di base, industriali e biotecnologiche. Sviluppo di metodi per la taratura di sensori di temperatura di tipo Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS). *Attività svolta.* Nell'ambito del progetto 18SIB02 Real-K: misure preliminari della temperatura termodinamica

con metodo AGT nell'intervallo fra 9 K e 240 K, sviluppo e collaudo di un apparato AGT per misure fino a 700 K; studio della riproducibilità della temperatura di transizione di fase solido/liquido di punti fissi eutettici metallo-carbonio. Nell'ambito del progetto 18SIB04 QuantumPascal: misure con metodo RIGT a 273.16 K per la realizzazione di un campione primario di pressione nell'intervallo fra 200 kPa e 1 MPa. Nell'ambito del contratto FORUM Balloon, stipulato fra ASI e l'Istituto Nazionale di Ottica (INO) del CNR per lo sviluppo di un prototipo per pallone stratosferico, il cui accordo attuativo prevede il coinvolgimento di INRiM, progetto di una cella in miniatura per la realizzazione del punto fisso del gallio. Nell'ambito del Progetto EMPIR 17IND04 - EMPRESS 2, messa a punto di un dispositivo di prova di una pastiglia dei freni strumentata, utile per il confronto in laboratorio tra metodi di termometria al fosforo (Cr:YAP) e per contatto (termocoppia) e successivamente utilizzata come campione di trasferimento per misurazioni *in situ* della temperatura superficiale su un banco di prova di sistemi frenanti allestito da partner industriale. Nell'ambito del Progetto EMPIR 17IND12 – MET4FOF, in collaborazione con un partner industriale, è stato realizzato un apparato per la taratura di sensori di temperatura MEMS, oltre a un sistema in grado di garantire la riferibilità metrologica delle misure di temperatura effettuate con tali sensori quando siano sottoposti a collaudi termici in macchine *Automated Test Equipment* (ATE) e allo sviluppo del software finalizzato all'emissione di certificato di taratura digitale (DCC). **Risultati ottenuti.** Pubblicazione dei risultati di termometria primaria RIGT ottenuti nell'intervallo fra 13.8 K e 161.4 K, e dei risultati di termometria primaria AGT, ottenuti da LNE-CNAM in collaborazione con INRiM, a 24.5 K. Pubblicazione dei risultati ottenuti nello sviluppo di termometri *whispering gallery*. Pubblicazione di prestazioni e caratteristiche di una camera termostatica realizzata per applicazioni, presso l'Università della Campania, di termometria primaria doppler-broadening (DBT) con vapori di mercurio. I risultati ottenuti nell'applicazione industriale nel campo *automotive* di termometri al fosforo sono stati presentati al 20th *International Metrology Congress* (CIM 2021). L'apparato per la taratura di termometri MEMS e il sistema che garantisce la riferibilità delle misure su macchine ATE è stato illustrato in un video-tutorial, presentato al Convegno *Metrology For Industry 4.0 & IoT*, e descritto in un articolo proposto per la pubblicazione su rivista. Si segnala inoltre l'emissione del primo certificato di taratura digitale (DCC) per questo tipo di sensori, che risulta il primo di questo tipo emesso dell'INRiM. La proposta di progetto *Metrological framework for passive radiative cooling technologies* 21GRD03 PaRaMetric, coordinata dalla Divisione ML, preparata in collaborazione con diversi gruppi di ricerca del settore SSAE04, è stata ammessa a finanziamento nell'ambito della Call 2021 EMP Green Deal.

Igrometria

Obiettivi. Estensione delle capacità di misura in igrometria con l'ampliamento dell'intervallo di temperatura di brina del generatore campione di gas umido INRiM 03, in grado di operare fino a -105 °C e con pressione da valori sub-atmosferici fino a 0.5 MPa, oltre alla differenziazione dei gas di trasporto.

Attività svolta. Caratterizzazione metrologica del generatore termodinamico di umidità in tracce nel campo di temperatura di brina da -100 °C a -75 °C (ovvero frazione molare da 15 ppb a 1 ppm) e di pressione da 200 hPa a 1100 hPa ed analisi dei dati acquisiti. Attività di coordinamento del progetto EMPIR 20IND06 – PROMETH2O concernente lo sviluppo della riferibilità metrologica per la misura dell'acqua in tracce nei gas di processo ultra-puri. Contributo alla preparazione di una proposta Green Deal relativa alla metrologia.

Risultati ottenuti. Pubblicazione, in collaborazione con l'Università di Messina, di un innovativo sensore di umidità a microonde miniaturizzato. Completamento di un generatore campione di umidità in tracce per la realizzazione delle scale di temperatura di brina e di frazione molare di acqua in azoto. Redazione di un articolo relativo alla caratterizzazione e valutazione dell'incertezza del generatore. La proposta di progetto *Metrology for the hydrogen supply chain* 21GRD05 Met4H2, che prevede contributi INRiM a supporto della catena di approvvigionamento dell'idrogeno, è stata ammessa a finanziamento nell'ambito della Call 2021 EMP Green Deal.

Proprietà termofisiche

Obiettivi. 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, sviluppo di modelli termodinamici specifici, basati su misure accurate di velocità del suono, densità e pressione di vapore di fluidi di interesse scientifico e tecnologico (quali ad esempio refrigeranti di nuova generazione, carburanti, solventi, acqua deuterata e di mare, aria umida) e realizzazione di sensori di trasferimento destinati ad essere utilizzati sugli impianti industriali.

Attività svolta. Nell'ambito di un contratto di consulenza finanziato da Snam: misure di velocità del suono e densità di miscele di gas naturale. Misura di proprietà termodinamiche (densità, velocità del suono, pressione di vapore) di gas refrigeranti. In particolare, sviluppo di un apparato sperimentale per la misura della pressione di vapore saturo del refrigerante R1224yd(Z) nell'intervallo di temperatura tra +1 °C e +65 °C e determinazione del budget di incertezza. Misure di velocità del suono in acqua marina in stati metastabili. Realizzazione di un prototipo di sensore di densità basato sugli ultrasuoni.

Risultati ottenuti. Pubblicazione delle caratteristiche e prestazioni di un sensore a ultrasuoni per la misura della velocità del suono in fase liquida in grado di operare come campione di trasferimento a temperature

criogeniche. Pubblicazione dei risultati delle misure di pressione di vapore di acqua pesante (D₂O) nell'intervallo di temperatura fra 256 K and 286 K. Misure di velocità del suono in miscele binarie di metano/butano e di metano/isopentano in fase liquida. Le misure di pressione di vapore saturo del refrigerante R1224yd(Z) hanno evidenziato, nell'intervallo di temperatura esaminato, un buon accordo, con l'equazione di stato di riferimento. I risultati sono in corso di pubblicazione.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Termometria

Obiettivi. Sviluppo delle attività di mantenimento e disseminazione dei campioni nazionali di temperatura attraverso un incremento delle capacità di misura e taratura (CMC) e la riduzione delle incertezze associate; promozione e partecipazione a confronti internazionali, anche con ruoli di coordinamento; attività di taratura e misura per conto di terzi; partecipazione attiva nei comitati e nei gruppi di lavoro del BIPM e di Euramet.

Attività svolta. Partecipazione al Key Comparison CCT-K7.2021 per la realizzazione del punto triplo dell'acqua, eseguite le misure di "andata" e spedizione delle celle al laboratorio pilota. Revisione del Draft A del Regional Key Comparison EURAMET.T-K9 per la taratura di termometri campione a resistenza di platino fra i punti fissi dell'Ar e dello Zn. Partecipazione alle attività di Peer Review del EURAMET Project No. 1123 / 2009 che coinvolge CEM, INRiM and IPQ. Partecipazione con il gruppo di igrometria e altri settori scientifici dell'INRiM al tavolo nazionale del progetto H2020 "Copernicus".

Risultati ottenuti. Nel corso del 2021, sono stati emessi complessivamente dal gruppo di temperature intermedie, dal gruppo di termometria industriale e dal gruppo di criogenia: 122 certificati di taratura per committenti esterni ed interni e 37 relazioni finali di confronti inter-laboratorio (ILC). I gruppi di termometria primaria per contatto e di termometria industriale, nel corso della partecipazione al WG CCT *Guide on Secondary Thermometry: Industrial platinum resistance thermometry* (CCT-TG-CTh-IPRT) hanno contribuito alla pubblicazione della guida "*Guide on Secondary Thermometry Industrial Platinum Resistance Thermometers*". Nell'ambito dei lavori del *Body Temperature Measurement* (CCT TG-NCTH-BTM) il gruppo di termometri a radiazione ha contribuito alla stesura delle *Best Practice Guides: "Use of Infrared Ear Thermometers to perform Traceable non-contact Measurements of Human Body Temperature"; "Use of Infrared Forehead Thermometers to perform Traceable non-contact Measurements of Human Body Temperature"*. È stato inoltre pubblicato un Rapporto Tecnico INRiM relative al progetto EURAMET N° 1268 "*Calibration of thermocouples from 419,527 °C (freezing point of Zn) up to 1492 °C (melting point of the Pd-C eutectic) by the temperature fixed points and comparison methods*". In termometria criogenica, sono stati acquisiti due contratti con il *Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences* (TIPC-CAS) rispettivamente per la taratura di termometri a capsula RhFe (completate nel 2021), e per la fornitura di due celle ai punti fissi criogenici.

Igrometria

Obiettivi. Fornitura di servizi metrologici a catalogo e attività di supporto all'accreditamento

Attività svolta. Esecuzione di tarature, misure e organizzazione di ILC, valutazioni documentali e valutazioni su campo da remoto di laboratori accreditati o accreditandi. Coordinamento del loop 3 del confronto pilota incluso nel progetto EURAMET Air Temperature Metrology (ATM)

Risultati ottenuti. Nel corso del 2021, sono stati emessi: 49 certificati per tarature interne; 24 certificati per tarature conto terzi in laboratorio e sul campo; 14 relazioni di confronto inter-laboratorio. Si sono impegnate giornate/uomo per incarichi per attività di supporto all'accreditamento: 34. Completata l'analisi dei dati per il confronto internazionale previsto dal progetto ATM. Partecipazione *peer-review* con istituto INTA (SPA) per il laboratorio di igrometria primaria.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi. Iniziative di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale; attività di normazione nazionale e internazionale; organizzazione e supervisione di confronti inter-laboratorio fra laboratori accreditati; supporto ad ACCREDIA per le attività di accreditamento con ruolo ispettivo; organizzazione e svolgimento di corsi di formazione per stakeholder industriali; svolgimento di tirocini a vari livelli, incluso addetti presso istituti metrologici di paesi emergenti; promozione e svolgimento di Dottorati di Ricerca; attività di docenza per corsi di primo e secondo livello attivi presso il Politecnico di Torino e l'Università di Torino. Revisione di tesi di laurea.

Attività svolta. Addestramento in attività teoriche di analisi dati di misure, tarature e confronti, e sperimentali di laboratorio di tirocinanti, tesisti e dottorandi del Politecnico di Torino (corsi di laurea in Ing. Meccanica e

Energetica) e dell'Università di Torino (corso di laurea in Fisica). Docenze, sessioni d'esame per corsi di laurea e di Dottorato: *Thermal measurements and controls* (60 ore, 50 studenti) - LM in Ing. Meccanica e Energetica (Politecnico di Torino); *Acustica* (22 ore) LM in Fisica; *Thermal measurements and control methods* (20 ore, 25 studenti) Corso di III livello Dottorato in Metrologia;

Risultati ottenuti. Due studenti laureati (LM) in Ing. Meccanica; uno studente laureato (LT) in Fisica. Avvio di un dottorato di ricerca in Metrologia (37° ciclo). Research Mobility Grant (3 mesi) ricercatore ospite Czech Metrology Institute (CMI). Partecipazione con attività di chairmanship e coordinamento di tavola rotonda (> 300 partecipanti) a Workshop Euramet *Metrology for Digital Transformation*. Istituzione del Comitato Nazionale Italiano per le proprietà dell'acqua e del vapore, che prevede il coinvolgimento di istituti di ricerca, industrie e università in vista dell'adesione come membro effettivo del Comitato Nazionale all'*International Association for the Properties of Water and Steam* (IAPWS).

Settore AE5 – Termodinamica applicata
Responsabile: Andrea Merlone

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Coppa Graziano	8,00	1,00	0,00	2,00	0,00	11
Durbiano Francesca	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Iacomussi Paola	7,60	1,10	0,00	2,30	0,00	11
Merlone Andrea	5,00	4,00	0,00	1,00	1,00	11
Musacchio Chiara	8,00	1,00	0,00	2,00	0,00	11
Pavarelli Stefano ⁽¹⁾	5,60	4,40	0,00	0,00	1,00	11
Pennecchi Francesca Romana	8,00	1,00	0,00	2,00	0,00	11
Rolle Francesca	4,00	4,00	0,00	0,00	0,00	8
Sacchetti Alberto	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Sega Michela	3,00	3,00	0,00	1,00	4,00	11
Spazzini Pier Giorgio ⁽²⁾	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
<i>Tot.</i>	64,2	19,5	0,0	10,3	6	100
PhDs						
Ma Qitian	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Personale associate						
Rossi Giuseppe	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3
<i>Tot.</i>	4	0	0	0	0	4
Totale	68,2	19,5	0	10,3	6	104

⁽¹⁾ ASPP

⁽²⁾ frazione restante mesi/persona impegnata in AE01

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. **2)** Sviluppo di casi studio per la valutazione di incertezza e conformità a specifiche. **3)** Sviluppo di modelli statistici per stime ed incertezze di parametri marini. **4)** Miglioramento del sistema di preparazione di miscele gassose gravimetriche e sua parziale automazione **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) **6)** Riferibilità e incertezze in misure in ambito marino (parametri chimico/fisici marini, $p\text{CO}_2$).

Attività svolta. **1)** Affinamento di modelli probabilistici (Bayesiani) e le tecniche di simulazione (Monte Carlo) per la valutazione di conformità di dati composizionali (progetto IUPAC/CITAC). **2)** Sviluppo di due esempi di valutazione di incertezza: *Electrical Properties Tomography* - EPT di un *phantom* da RMN e valutazione di conformità di concentrazioni di particolato atmosferico (17NRM05 EMUE). **3)** In collaborazione con il Centro Ricerche S. Teresa (ENEA), indagini sulle relazioni tra parametri marini (correnti, solidi sospesi, torbidità) e relative incertezze. **4)** Parziale automatizzazione del sistema di pesata di precisione per la preparazione gravimetrica di miscele gassose; validazione della stazione per la preparazione di miscele gassose in diluizione dinamica. **5)** Preparazione di miscele gassose per la misura di rapporti isotopici di CO₂ e miglioramento dell'acquisizione dei parametri ambientali (p , T , U_{rel}) per lo spettrometro FTIR. Inizio del miglioramento tecnico dello spettrometro FTIR, (nuovo rivelatore e nuova cella di misura), per la riduzione dell'incertezza di misura. **6)** Inizio delle attività del progetto INFRAIA "MINKE", inerenti alla riferibilità metrologica delle misure di $p\text{CO}_2$ in acqua di mare (in collaborazione con OGS) e partecipazione al JPI Oceans.

Risultati ottenuti. **1)** Due pubblicazioni su rivista, una presentazione a congresso ed un webinar (IUPAC/CITAC webinar). **2)** Pubblicazione dei report e dei relativi codici di calcolo sulla pagina Zenodo del progetto, un poster a conferenza (con i colleghi di ML), due presentazioni a workshop (EMUE training). **3)** Pubblicazione su rivista e rapporto tecnico ENEA (coautorati con i colleghi di ENEA). **4-5)** Tre presentazioni a congressi internazionali

su attività sugli isotopi stabili del CO₂ e relative pubblicazioni sugli atti di congresso. **6)** Predisposizione di studio di fattibilità con OGS per la realizzazione di campioni di riferimento gassosi per garantire la riferibilità delle misure di pCO₂.

Meteorologia e climatologia

Obiettivi. **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 **6)** Partecipazione al progetto INFRAIA H2020 - “MINKE” su analisi incertezze e fattori di influenza in misure di grandezze fisiche.

Attività svolta. **1)** (a) Contributo allo sviluppo della raccomandazione WMO sul processo di validazione di estremi. (b) partecipazione alle fasi preliminari di validazione del record di temperatura di Florida (SR) del 11-08-2021 c) taratura sperimentali sensori presso Real Collegio Moncalieri **2)** Partecipazione progetto 19SIP06 “COAT” e coordinamento attività con ISP-CNR; tarature dedicate per sensori progetto RIST; sostituzione catene di sensori presso grotta di Bossea (PoliTo) **3)** conclusione iter di identificazione sito e sopralluoghi tecnici. **4)** Preparazione di un articolo. **5)** Coordinamento progetto INCIPIT 18NRM03 **6)** Partecipazione al progetto in qualità di co-WP leader.

Risultati ottenuti. **1)** (a) Primo *draft* della raccomandazione in revisione presso l’ET-MU (A. Merlone Chair) (b) incarico WMO per partecipazione a gruppo di lavoro per validazione del record di Florida (SR) c) ottenimento valutazione drift di sensori meteo per centennial station di Moncalieri **2)** Pianificazione sito per intercomparison WMO presso base polare conclusa: sito attrezzato e pronto a ricevere gli strumenti; Nuova strumentazione ora in funzione presso grotte di Bossea **3)** Coordinamento progetto 19SIP03 – CRS e ottenimento concessioni d’uso per la particella di terreno e firma convenzione. **4)** Invio articolo a “Atm. Sc. Tech”. **5)** Conclusione *Deliverables* previsti per il periodo, risultati test dispersione gocce ad altezze variabili, conclusione RMG02 (presso INRiM) **6)** Avvio progetto, kick-off meeting. Avvio lavori WP.

Termometria termodinamica per contatto

Obiettivi. **1)** Prosecuzione del progetto “Realk” su utilizzo di “*Gas-Controlled Heat Pipes*” WP3. **2)** Obiettivi del progetto H2020 “Midas” in collaborazione con il Politecnico di Torino.

Attività svolta. Entrambi i progetti vedono un’estensione con nuova conclusione prevista nell’anno 2022. **1)** preparazione Heat pipe, selezione e ricezione HT-SPRT. **2)** Seconda fase di caratterizzazione del MIDAS Model B. Svolgimento di una tesi di laurea.

Risultati ottenuti. **1)** Heat pipe pronto per riempimento con sodio e inizio misurazioni. Sei HT-SPRT disponibili ora presso INRiM da partner di progetto. **2)** Report caratterizzazione MIDAS Model B

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 **2)** Definizione e implementazione di metodologie di caratterizzazione di sensori digitali in campo radiativo esteso per applicazioni anche in ambito *automotive* e la mappatura diffusa **3)** Definizione e miglioramento delle tecniche di caratterizzazione delle proprietà radiative materiali e sorgenti anche per applicazioni medicali tra cui la protesica avanzata

Attività svolta. **1)** Implementazione metodologie di caratterizzazione per i beni culturali in campo **2)** Studio delle proprietà metrologiche di sensori digitali e camere e contributo all’inclusione nella camera EDDIE di un simulatore solare. Coordinamento consorzio per presentazione progetto finanziato EURAMET (call Green Deal) **3)** Supervisione operativa allestimento laboratorio dedicato,

Risultati ottenuti. **1)** caratterizzazione spettroradiometrica di reperti in vetro di età romana, valutazione capacità di pulitura di biociti su materiali lapidei con graffiti rupestri esposti in campo. **2)** Coordinamento consorzio di ricerca (8 NMI, 3 università, 2 laboratori di ricerca, 1 partner industriale e 1 struttura di accreditamento) per preparazione progetto. Pubblicazione di un articolo (IEEE MetroAutomotive best paper awards) **3)** Allestimento e inaugurazione del laboratorio di Advanced Aesthetics presso Unito CIR Dental School.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Chimica e analisi statistica associata

Obiettivi. **1)** Preparazione di miscele gassose gravimetriche di CO₂ a livello ambiente e studio di stabilità in vista della dichiarazione di CMC per la produzione di materiali di riferimento gassosi. **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.

Attività svolta. **1)** *Peer visit* del laboratorio in ambito del Progetto EURAMET 1123; preparazione delle bozze di procedura 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 e in *Task Group* specifici), in organizzazioni internazionali ed europee (*Chair* di IMEKO TC-8, *membership* in CITAC, 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 ottenuti. **1)** Nuove revisioni delle procedure di taratura degli analizzatori NDIR; bozze di procedure di preparazione di miscele gassose primarie. **2)** Pubblicazione del rapporto finale del confronto chiave CCQM-K74.2018. **3)** Svolgimento delle attività entro i comitati; pubblicazione della guida Eurachem/CITAC “*Use of uncertainty information in compliance assessment*” (2nd ed. 2021); avvio del progetto di rete MATHMET “*Measurement uncertainty training*” con *survey* di corsi e software per la valutazione dell’incertezza. **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.

Attività svolta. *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”, co-chairmanship e membership del *Task Group Air Temperature* del CCT, co-chairmanship e membership del Permafrost Task Team - Best Practices del Global Cryosphere Watch.

Risultati ottenuti. Revisione normative di riferimento in elaborazione nei diversi comitati, costituzione e avvio *Task Group “Air Temperature”* del CCT BIPM; Primo draft valori di incertezza per ECV di interesse per il GSRN

Termometria termodinamica per contatto

Obiettivi. Obiettivi del progetto EURAMET 1459 “ATM Air Temperature Metrology”.

Attività svolta. Coordinamento progetto EURAMET 1459 e possibile estensione fuori dall’EURAMET verso altre RMO.

Risultati ottenuti. Conclusione ILC, protocol per revisione presso APMP, avvio nuovo TG Air T - CCT

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Obiettivi. Mantenimento e rafforzamento di attività, incarichi, partecipazioni e *chairmanship* in corso nei rilevanti network

Attività svolta. Partecipazione TG-BTM *Body temperature Measurement*

Risultati ottenuti. Presentazione e implementazione della revisione procedure di misurazione della temperatura realizzate dal TG-BTM da parte di una comunità selezionata di Sanitari (Ordine dei medici di Torino e provincia, Ospedale Mauriziano, Unito).

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi del Settore: **1)** Massimizzare l’impatto tecnologico e scientifico dei progetti in corso. **2)** Ampliare la portata della scienza termodinamica a sforzi multidisciplinari in cui le grandezze chimiche e le proprietà dei materiali giocano un ruolo chiave. **3)** Sviluppare sensori, strumenti e metodologie innovativi adatti a trasferire le tarature e associate incertezze dal laboratorio al sito, alle applicazioni intelligenti. **4)** Contribuire a comprendere, modellare, valutare e ridurre le incertezze nei campi applicati delle proprietà fisico-chimiche. **5)** Affrontare le esigenze di ricerca degli stakeholder scientifici e industriali nelle misurazioni della termodinamica chimica, la riferibilità per le osservazioni oceaniche, la scienza atmosferica e l’evoluzione climatica. **6)** Partecipazione attiva nei comitati normatori.

Chimica e analisi statistica associata

Attività svolta. **1)** Contributi a workshop nazionali e internazionali. **2)** Corsi di formazione per studenti di dottorato, stage di formazione. **3)** *Chair* UNI/CT 016/GL 69 e ISO/TC 69/SC 6/ WG 7

Risultati ottenuti. **1)** Co-chair del *Workshop* ENBIS/MATHMET “*Mathematical and Statistical Methods for Metrology*” – MSMM (INRiM e Politecnico di Torino organizzatori); *chair* della sessione organizzata “Measurement Uncertainty SIG” della ENBIS-21 online conference; presentazione sulla valutazione di conformità secondo il JCGM 106:2012 (EMUE workshop); presentazione “L’incertezza che rende sicura ogni misura”, Caffè scientifici, Notte dei Ricercatori (24/9/2021); *Membership* del *Scientific e Technical Committee del 2021 International Metrology Congress* – CIM 2021. Organizzazione di una sessione speciale al 2021 *IEEE International Workshop on Metrology for the Sea* **2)** Insegnamento del corso “*The evaluation of uncertainty in measurement*” del dottorato di Metrologia (a.a. 2020-2021); corso UNI “JCGM 101:2008 e JCGM 102:2011, Valutazione dell’incertezza di misura con il metodo Monte Carlo e per casi multivariati”; correlatore di tesi di primo livello (PoliTo) sul tema “*State-of-the-art of Machine Learning for Metrology*”. **3)** Svolgimento delle attività specifiche entro i comitati.

Meteorologia e climatologia

Attività svolta. **1)** Contributi e organizzazione di workshop nazionali e internazionali. **2)** Offerta tesi di dottorato e stage di formazione per visiting scientists. **3)** Partecipazione a eventi nazionali.

Risultati ottenuti. **1)** *Webinar* “*Waiting for MMC*” 26-28 Ottobre 2021 – Jezersko – Slovenia. Modalità ibrida, totale 80 partecipanti, incluso rappresentanza WMO. **2)** Formazione per RMG02 nell’ambito del progetto 18NRM03 INCIPIT. Avvio di una tesi di dottorato in Metrologia. Pianificazione *secondment* presso Svalbard Integrated Observing System e base polare di Ny-Ålesund. Avvio tirocinio master ADABI per lo sviluppo di metodi di machine learning applicati a dati meteo-climatologici.

Interazioni radiative tra sorgenti e materiali

Attività svolta. **1)** Contributi a workshop nazionali e internazionali, revisione relazioni brevettuali estensione brevettazione Europea **2)** Corsi di formazione per studenti di dottorato, stage di formazione, Allestimento laboratori multidisciplinari presso Unito, conservazione e valorizzazione dei beni culturali interazioni con la Curia Metropolitana di Torino **6)** rappresentanza in enti normatori, partecipazione a comitati tecnici

Risultati ottenuti. **1)** Estensione a livello Europeo dei brevetti Italiani su MR, *Chairmanship* congresso Metro Automotive, Sessione Standardizzazione **2)** Docenza corso Unito di Psicofisica della Visione, dottorato Tech4 Culture, Inaugurazione laboratorio Advanced Aesthetic, Supervisione illuminazione Adorazione Sindone, Pasqua 2021 **6)** Co-chair di CIE TC4-50 e pubblicazione del primo draft della pubblicazione CIE 144, attività specifica all’interno dei vari comitati.

Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie

Responsabile: Davide Calonico

Risorse umane (TI + TD) al 31/12/2021

Ricercatori e Tecnologi: 42. Tecnici: 17

Ulteriori risorse umane

Assegnisti, Borsisti e Dottorandi: 34. Associati e incarichi: 11

Articolazione delle attività

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

In particolare la Divisione cura:

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

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

SETTORE	DESCRIZIONE
QN01: Chimica Fisica e Nanotecnologia (Andrea Mario Rossi)	Il settore ha l'obiettivo di sviluppare riferimenti e tecniche di misura per la chimica fisica, in particolare la caratterizzazione di contaminanti nel cibo e negli imballaggi alimentari, allo scopo di garantire la sicurezza alimentare per la tutela dei consumatori. L'attività prevede inoltre lo sviluppo e l'applicazione di metodi matematico-statistici per l'analisi delle misure chimiche e la creazione di banche dati da applicare alle metodologie di misura sviluppate a supporto della tracciabilità dei prodotti alimentari. Le competenze nanotecnologiche sono sviluppate sullo studio di nanoparticelle e loro impiego in applicazioni come gli imballaggi attivi.
QN02: Elettronica Quantistica (Luca Callegaro)	Il settore si occupa della realizzazione delle unità elettriche ampere, ohm, henry, farad, e dei campioni quantistici di corrente continua e resistenza elettrica in regime continuo, e dei campioni nazionali di tensione elettrica in regime alternato, corrente elettrica in regime alternato, resistenza elettrica in regime alternato, capacità elettrica, induttanza elettrica, potenza elettrica, energia elettrica. Svolge attività di ricerca per la metrologia dell'effetto Hall quantistico e dell'elettronica singolare. Studia materiali e dispositivi basati sul grafene. Sviluppa dispositivi superconduttivi basati su giunzioni

	Josephson per la generazione, manipolazione e amplificazione di segnali a microonda fino al livello del singolo fotone.
QN03: Fotometria e Radiometria (Giorgio Brida)	Il settore si occupa della realizzazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali: intensità luminosa, illuminamento, luminanza, temperatura di distribuzione, colore in trasmissione, potenza radiazione visibile, potenza radiazione in fibra ottica, sensibilità spettrale, trasmissione regolare e diffusa, riflessione regolare. Svolge ricerche per i fotorivelatori innovativi (fotorivelatori predicibili; fotorivelatori singolo fotone), dei materiali per la visione e della nanofabbricazione per la fotonica.
QN04: Ottica Quantistica (Marco Genovese)	Il settore studia e sviluppa metodi di misurazione basati sulle proprietà degli stati ottici quantistici, in particolare delle correlazioni associate agli stati di entanglement. Promuove l'utilizzo di nuove tecniche di misurazione in grado di superare i limiti di rumore propri dei sistemi classici nell'ambito della metrologia, del sensing e dell'imaging.
QN05: Tempo e Frequenza (Filippo Levi)	Il settore realizza le unità di tempo e frequenza, genera la scala di tempo nazionale UTC(IT), riferita al Tempo Universale Coordinato (UTC). Partecipa alla realizzazione del sistema Galileo, con un ruolo di primo piano nel timing. Svolge ricerche sugli orologi atomici, realizzando campioni a microonde e ottici con accuratezza tra le migliori nel panorama. Opera una infrastruttura di ricerca in fibra ottica (>1800 km), fornendo riferimenti primari a utenti scientifici ed industriali con accuratezza di 2×10^{-17} e per lo sviluppo di tecnologie quantistiche. Sviluppa con i maggiori enti metrologici europei per un'infrastruttura in fibra ottica europea. Svolge ricerche innovative in spettroscopia atomica molecolare e sulle trappole a ioni.

La Divisione è attiva sulle tre missioni dell'INRiM (Ricerca e Sviluppo, Ruolo NMI, Trasferimento Tecnologico e Formazione), come descritto in dettaglio nelle schede di Settore. Nel 2021, ha partecipato a 51 progetti finanziati di ricerca nazionali e internazionali, di cui 12 coordinati dalla Divisione. I progetti finanziati da imprese sono 11, da enti nazionali 5, da enti internazionali 35. QN ha visto i follow up dell'ERC dell'INRiM (Plusone). In tutto, la quota di finanziamento per INRiM dei progetti ammonta a circa 11 M€, con una media per anno di 4M€. La durata media è di 35 mesi.

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

Nel corso del 2021, QN ha consolidato lo European Metrology Networks (EMN) sulle Tecnologie Quantistiche, che coordina, e ha continuato la costruzione di un secondo EMN sulla metrologia alimentare, sempre come Coordinatore, in fase di approvazione Lo **EMN on Quantum Technologies**, coordinata da INRiM, si propone come punto di contatto tra la comunità metrologica e gli stakeholder delle emergenti Tecnologie Quantistiche, in grado di fornire i riferimenti metrologici a quest'area di ricerca fortemente valorizzata dalla *FET- Flagship on Quantum Technologies* della Commissione Europea. La Divisione è inoltre coinvolta in diversi progetti che si basano sullo sviluppo di aspetti diversi delle tecnologie quantistiche, sui pilastri di Quantum Sensing, Quantum Communication e Quantum Metrology.

QN continua a coordinare lo sviluppo a regime dell'infrastruttura di tutto l'istituto **PiQuET, Piemonte Quantum Enabling Technologies**, con la partecipazione di Politecnico di Torino e Università di Torino. L'obiettivo è di creare le condizioni affinché tutto l'istituto tragga vantaggio dal trend scientifico consolidato di miniaturizzazione dei dispositivi anche in metrologia, come evidenziato dal progetto del NIST "NIST on a chip". Nel 2021, il personale INRiM ha cominciato a usare l'infrastruttura dopo l'emanazione dei regolamenti di uso per dipendenti INRiM. Inoltre, INRiM ha finalizzato un'importante Convenzione trilaterale con Politecnico e Università di Torino per la creazione di laboratori congiunti che includono anche Piquet, tutti fondati sull'uso comune di infrastrutture e strumenti, secondo una condivisione di costi a consuntivo in parte proporzionale all'effettivo utilizzo da parte degli istituti. Tutti i laboratori congiunti sono collocati nel campus di INRiM e segnano un'opportunità di rilievo per incrementare l'attrattività dell'istituto e la possibilità di accedere a tutti i

dipendenti a strumenti prima non disponibili nel campus, strumenti elencati in un apposito allegato della convenzione.

QN partecipa al progetto di nuova infrastruttura di ricerca Europea **METROFOOD-RI** – Research Infrastructure for Promoting Metrology in Food and Nutrition (ESFRI Roadmap 2018 – Domain Health and Food), che è stato valutato “emerging” per la sua eccellenza scientifica nel dominio “Health & Food”. Il progetto, coordinato dall’Italia (Enea), vede la partecipazione di 31 Partner di 15 diversi Paesi. Nel 2021, INRiM ha finalizzato l’approvazione di uno **European Metrology Network (EMN) per la sicurezza alimentare** dopo aver creato il consorzio e la proposta alla base dell’EMN, che segue il lavoro preparatorio del progetto di supporto (Food-MetNet) in ambito Euramet.

In QN si colloca il Coordinamento dell’Infrastruttura dell’INRiM **IMPreSA, Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare**, che vede la collaborazione di Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte, Liguria e Valle D’Aosta, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante del CNR, Istituto Scienze delle Produzioni Alimentari del CNR, CREA, ENO con l’obiettivo di sviluppare materiali innovativi per l’imballaggio alimentare garantendo il rispetto delle normative internazionali e proponendo di essere di supporto alle aziende. Nel 2021, il nuovo laboratorio è stato consolidato, sono stati avviati i lavori per l’elaborazione di regolamenti di accesso, la strumentazione è avviata e una particolare attività è stata dedicata alle questioni di sicurezza relative al futuro utilizzo di gas tossici.

Il contributo di INRiM allo sviluppo del progetto strutturale Europeo di Navigazione satellitare **Galileo** ha costituito anche nel 2021 un’attività caratterizzante, con il contributo specifico per gli aspetti di tempo e frequenza alla costruzione di un **Time Service Provider** europeo basato sul sistema Galileo stesso. La collaborazione qui è stata soprattutto con l’Agenzia Spaziale Europea e Italiana, con la Galileo System Authority della Commissione Europea e con l’azienda prime europea del progetto, SpaceOpal.

Un’altra infrastruttura di dimensione nazionale ed europea è il Link ottico di Tempo e Frequenza/Italian Quantum Backbone (LIFT/IQB), una dorsale in fibra ottica su cui l’INRiM distribuisce segnali campione di Tempo e Frequenza e sperimenta le emergenti tecnologie quantistiche, in particolare nell’informazione. Nel 2021 tutti i 1850 km sono diventati operativi e gestiti in continuità temporale: INRiM nel 2021 ha potuto così usare IQB come collegamento agli NMI di Francia, Germania e UK (frequenza), con il più grande confronto di orologi primari a microonde e ottici mai svolto nella comunità T/F. Inoltre, sempre nel 2021, un confronto internazionale tra gli orologi ottici a Itterbio di INRiM e KRISS (Coreadel Sud) è stato eseguito con la tecnica radioastronomica introdotta proprio dall’INRiM e che vede la fibra collegare INRiM alla radioantenna di INaaf a Medicina per poi eseguire la tecnica di confronto con la Corea. Nel 2021 è diventato operativo il collegamento di tempo presso il centro del Fucino che ospita la scala di tempo del progetto Galileo e anche la distribuzione di UTC(IT) in fibra a Roma presso Thales Alenia Spazio. Nel 2021 è stata conclusa e approvata la pubblicazione di un lavoro pionieristico sulla comunicazione quantistica che ha dimostrato in campo reale l’uso delle tecniche interferometriche proprie di IQB per il protocollo TF-QKD di distribuzione quantistica di chiavi crittografiche

Ricerca e Sviluppo

Nel corso del 2021 la Divisione ha pubblicato 50 lavori su riviste internazionali indicizzate (di cui 41 con IF) e ha partecipato a 51 progetti di ricerca, di cui 12 coordinati da INRiM. Pertanto, QN nel 2021 si attesta su 1,25 pubblicazioni/ricercatore (a tempo indeterminato) e 1,3 progetti attivi/ricercatore (a tempo indeterminato).

Per quanto riguarda le attività relative alla **Chimica Fisica e alle Nanotecnologie**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2021 sono i seguenti.

- **Biosicurezza:** nel quadro del progetto ViraDEP, produzione di un database di spettri Raman di batteri delle piante e database di spettri Raman di virus vegetali, con relativa pubblicazione su rivista internazionale (Applied Sciences)
- **Nanotecnologie per la metrologia alimentare:** studio della quantificazione delle proprietà antimicrobiche di AgNPs di diverse dimensioni immobilizzate su una superficie, sintetizzate e caratterizzate con UV-vis, SEM, TEM e ICP-MS. Sono state studiate la MIC (Minimal Inhibitory Concentration) e l’MBC (Minimal Bactericidal Concentration) contro il batterio di *Escherichia coli*.

- *Materiali o Oggetti a Contatto Alimentare*: Sono state messe a punto metodiche standard, quali DPPH ed ORAC, per la valutazione delle proprietà antiossidanti, ed il metodo TBARS per la valutazione della shelf-life di matrici alimentari grasse/oleose. Sono stati inoltre prodotti film attivi di biopolimeri, opportunamente modificati con frazioni attive di scarti alimentari selezionati, che hanno dimostrato una protezione dall'ossidazione della matrice alimentare del 60%.
- *Network europeo sulla sicurezza alimentare*: nel 2021, sviluppo di 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, in sinergia con METROFOOD.

Sulle tematiche della **Elettronica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2020 sono i seguenti.

- *Caratterizzazione di dispositivi e sistemi*: Sviluppo della nuova fixture per misure ERT e noise su nanofili, oltre alla valutazione della quantizzazione in regime ac di dispositivi in grafene nell'ambito del progetto GIQS.
- *Realizzazione quantistica del farad nel nuovo SI*: nel 2021, Il ponte di impedenza digitale INRiM risulta ottimizzato per la realizzazione del farad dall'effetto Hall quantistico, con una pubblicazione in preparazione.
- *Manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde*: sono stati identificati possibili campioni di riferimento e dispositivi, oltre ai possibili schemi di misura per parametri di scattering a 1 e 2 porte documentati in pubblicazioni.
- *Elettronica singolare per la realizzazione pratica dell'ampere*: Allestimento del laboratorio B013b "Quantum Circuits Lab" e definizione delle catene di misura di caratterizzazione di dispositivi mesoscopici con giunzioni tunnel sub-micrometriche. con. Dimostratore sperimentale per caratterizzazione di dispositivi elettronici con correnti nel range 10 pA - 10 nA e tensioni nel range 1 uV - 10 mV. e primi test in-house del criostato a diluizione.
- *Potenza ed energia elettrica nel nuovo SI*: Realizzazione e misure di guadagno e sfasamento singoli canali del commutatore sincrono coassiale; Primo allestimento sistema criogenico per test e verifica dispositivo SNS 1-V PJVS

Sulle tematiche della **Fotometria e Radiometria** i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2021 sono i seguenti.

- *Rivelatori di singolo fotone*: 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)*: ottimizzate le condizioni di deposizione dei film per ridurre al minimo le perdite di ricombinazione all'interfaccia silicio-dielettrico e le perdite ottiche.
- *Fotometria classica e quantistica*: Realizzazione di sorgente pseudotermica (a speckle) correlata ad alta risoluzione con ricostruzione di un'immagine ghost di una fenditura, tramite correlazione con due differenti piani di speckle nel ramo correlato, in modo da ottenere un'immagine a fuoco indipendentemente dal piano focale in cui è posizionato l'oggetto.
- *Radiometria a singolo fotone*: Pubblicazioni sui modelli analitici 1) di risposta di un rivelatore SPAD free running illuminato da sorgenti impulsive operanti a diversi regimi di numero di fotoni per impulso e repetition rate; 2) del modello quantistico per emissione di coppie di fotoni correlati a microonda tramite 3WM e 4WM. Installazione e messa in funzione di due detector SNSPD e misura dell'efficienza quantica, per conferma di specifiche tecniche (80%)

Sulle tematiche della **Ottica Quantistica**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2021 sono i seguenti:

- *Generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana*: misure su cellule in vitro con tecniche ODMR da fluorescenza a singolo fotone da centri NV in diamante, con un articolo e con un brevetto proposto su ghost imaging plenottico,
- *Nuovi paradigmi della misura quantistica*: Articolo su misure robuste con weak values (Light & Science applications) e articolo su protective measurements (Applied Science).
- *Sorgenti a singolo fotone*: Pubblicati 2 articoli su sorgenti a singolo fotone con centri di colore in diamante (Al,Pb).

Sulle tematiche di **Tempo e Frequenza**, i risultati di maggior rilievo ottenuti nel 2021 sono i seguenti.

- *Campioni ottici di frequenza*: 2 articoli su riviste internazionali sui confronti di orologi con tecniche VLBI. È stata valutata per la prima volta l'accuratezza del campione allo Sr (articolo pubblicato nel 2022).
- *Campioni a microonda* Nel corso del 2021 sono stati pubblicati 3 lavori su rivista sulle tematiche dei campioni impulsati al Rb in cella
- *Nuovi oscillatori*: L'attività sul pettine ottico ha contribuito alle 2 pubblicazioni su riviste internazionali riguardanti i confronti di orologi con tecniche VLBI (vedere paragrafo "Campioni ottici") e all'articolo riguardante l'attività QKD (vedere paragrafo "Tecniche T/F in fibra ottica per applicazioni di tecnologie quantistiche"). Un ulteriore articolo sulla caratterizzazione del comb è in preparazione.
- Sistemi quantistici molecolari e ibridi: realizzato il primo esperimento italiano di intrappolamento di ioni, con il confinamento di cristalli di Coulomb di ioni di Bario. Realizzata la prima nuvola di atomi di Litio in trappola magneto-ottica. L'attività sulle misture atomo-ione ha prodotto due pubblicazioni scientifiche, una su Optics Letters (tema: laser a cavità estesa), una su Physical Review Letters (selezionata per editors' suggestions, tema: tecniche innovative di raffreddamento di atomi).
- *Tecniche T/F in fibra ottica in applicazioni di tecnologie quantistiche, radioastronomia, geofisica, geodesia spaziale*: tramite tecnica interferometrica, finalizzato l'esperimento di distribuzione quantistica di chiavi con protocollo TF-QKD e sottomesso un articolo (pubblicato a gennaio 2022 su Nature Comm.). Attività legata ad applicazioni geofisiche: è stato creato un catalogo di eventi sismici rivelati con la fibra ottica, validato da INGV per confronto con dati da sismografi tradizionali. Confronti confronti di orologi con tecniche VLBI (vedere paragrafo "Campioni ottici")

Ricerca istituzionale (ruolo NMI)

La Divisione mantiene e sviluppa 13 Campioni Nazionali di cui al D.M. 591/1993 e altri 8 Campioni Primari. Nel 2021 sono risultati attivi 16 confronti di misura internazionali e sono stati emessi ca 420 certificati di taratura e prova, distribuiti nelle aree elettriche, fotometriche e di tempo/frequenza.

Per quanto riguarda la **Chimica Fisica e Nanotecnologia**, nella *Metrologia Raman*, combinando dati sperimentali e analisi chemiometrica, si è sviluppata una procedura standard (SOP) per ottenere la misura di interesse con relativa valutazione dell'incertezza; la *Metrologia applicata all'analisi degli additivi alimentari* è stata effettuata una valutazione dell'incertezza di misura del metodo ufficiale OIV-OENO 591A-2018 ed è stato svolto un confronto di misura fra nove laboratori esperti dislocati in Piemonte. *L'Analisi per Attivazione Neutronica* ha partecipato a confronto internazionale in ambito CCQM (in conclusione e pubblicazione).

Per quanto riguarda la **Elettronica Quantistica**, sul *Campione nazionale quantistico di tensione elettrica* è stato testato il nuovo sistema per il campione quantistico PJVS da 1 V; per le *Unità e scale di impedenza elettrica* è stato validato e pubblicato il nuovo sistema di riferibilità. La *Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala* ha visto la conclusione del progetto EURAMET #1466 e pubblicazione del report e dei risultati con la dichiarazione nuove CMC per la corrente continua nel range 10 fA - 5 uA (e pubblicazione del confronto). La *Metrologia per RF&MW* ha ottenuto la conferma metrologica del sistema di misura dei parametri di scattering nel campo di frequenza 9 kHz-50 GHz (connessioni N, 3.5mm e 2.4mm) e nel campo 50 MHz-40 GHz (connessione 2,92mm) con emissione dei relativi 4 rapporti tecnici. Estensione delle CMC nel campo 9 kHz-50 MHz approvata ed online sul KCDB. Conclusione con esito positivo di ILC. Il *Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato* ha completato il Draft A del confronto internazionale EURAMET.EM-K5, in corso di pubblicazione. Sulla *Convenzione INRiM-MISE contatori di energia* (in collaborazione con AE), nel 2021 è stata effettuata la verifica di contatori elettrici commerciali in condizioni di bassa power quality secondo normativa internazionale. Per la *Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico*, è stato introdotto l'uso dei ponti a comparatore di corrente (CCC, DCC), con il confronto di sistemi di misura a livello di 10 ppb. Sono stati emessi 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.

Per quanto riguarda la **Fotometria e Radiometria**, nel 2021 si è lavorato sul Key-comparison Euramet K3.2020 ("intensità luminosa") con la preparazione dei campioni viaggiatori e il ripristino del servizio di taratura glossmetri.

Per quanto riguarda la **Ottica Quantistica**, nella *Standardizzazione QKD* è proseguita la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute e con il Focus Group on Quantum Technologies (FGQT)

del CEN-CENELEC per la scrittura delle Roadmap sulla standardizzazione delle Tecnologie Quantistiche,

Per quanto riguarda la metrologia **Tempo e Frequenza**, la *Scala di tempo*, è stato sviluppato il codice per generare una scala in tempo reale utilizzando tutti gli orologi atomici dell'INRiM, testato in real-time e validato con esito positivo. Per i *Confronti tra campioni di frequenza*, il link ottico di frequenza è stato usato per la prima volta nel confronto di orologi ad altissima accuratezza con Francia (SYRTE), e Germania (PTB). È cominciato in collaborazione con INAF-IRA e KRISS (Corea del Sud) il confronto intercontinentale di orologi con tecniche VLBI. Il *Trasferimento di tempo accurato* su fibra ottica dal 2021 collega le aziende: Leonardo (Nerviano), TASI (Roma) e Telespazio (Fucino), con relativi contratti di sperimentazione che evolveranno verso un servizio permanente.

Campioni nazionali mantenuti dalla Divisione (DM 591/1993)

QN02	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica
QN02	Campione nazionale di intensità di corrente elettrica in regime alternato sinusoidale
QN02	Campione nazionale di potenza elettrica
QN02	Campione nazionale di potenza elettrica per radiofrequenza e microonde
QN02	Campione nazionale di attenuazione di potenza
QN02	Campione nazionale di energia elettrica
QN02	Campione nazionale di tensione elettrica in regime alternato sinusoidale
QN02	Campione nazionale di capacità elettrica
QN02	Campione nazionale di induttanza
QN03	Campione nazionale di intensità luminosa
QN05	Campione ottico di frequenza a Itterbio ultrafreddo
QN05	Campione primario di frequenza a fontana di cesio
QN05	Scala nazionale di tempo UTC(IT)

Altri campioni

QN01	Campione di conducibilità elettrolitica
QN02	Campione quantistico di tensione elettrica per effetto Josephson
QN02	Campione quantistico di resistenza per effetto Hall quantistico
QN02	Campione di rapporto di tensione in regime alternato sinusoidale
QN03	Potenza radiazione in fibra ottica
QN03	Sensibilità spettrale
QN03	Luminanza
QN03	Trasmissione regolare
QN03	Trasmissione diffusa
QN03	Riflessione regolare

Terza Missione

Per quanto riguarda le attività di **Knowledge Transfer**, nel 2021 la Divisione è stata impegnata nella divulgazione scientifica rivolta alle scuole di ogni ordine e grado, anche nel *Progetto scuole*.

QN ha continuato a garantire expertise tecnica per ACCREDIA.

Nell'ambito del supporto all'industria è partito un contratto tecnologico (PROSPECT IS) per la caratterizzazione di un sistema di imaging (illuminatore LED e camera) facente parte di un sistema di prospezione della superficie lunare di una prossima missione spaziale (Luna 27).

Si è consolidata l'attività di Technology Transfer in favore di Leonardo su orologi per lo spazio. In ambito Galileo, continuano anche nel 2021 i contratti con le aziende Spaceopal, Thales Alenia Space (TAS) e gmv su fondi dell'ESA e dell'Agenzia dell'Unione Europea per il Programma Spaziale (EUSPA), in particolare con il contratto Time Service Provider (TSP), coordinato da INRiM per gli aspetti scientifici.

Nel 2021 è stato creato in collaborazione con Open Fiber e INGV (progetto MEGLIO) su una fibra ottica commerciale, un osservatorio prototipale di terremoti in centro Italia basato sull'interferometria in fibra ottica.

Settore QN1 - Chimica fisica e nanotecnologie

Responsabile: Andrea Mario Rossi

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Bergamaschi Luigi	6,00	4,00	0,00	0,50	0,50	11
Berruto Matteo	6,00	4,00	0,00	0,00	0,5	10,5
Durbiano Francesca	6,50	1,00	0,00	0,50	1,00	9
Giovannozzi Andrea Mario	9,00	1,00	0,00	0,50	0,50	11
Portesi Chiara	7,00	2,00	0,00	0,50	1,50	11
Rossi Andrea Mario	3,00	2,00	1,00	1,00	4,00	11
<i>Tot.</i>	37,5	14	1	3	8	63,5
Assegni ricerca						
Mandrile Luisa	9,00	1,00	0,00	1,00	0,00	11
Sacco Alessio	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	11
Schiavone Consolato	2	0,00	0,00	0,00	0,00	2
PhDs						
Aiuto Beatrice	2	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Barzan Giulia	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Cagnasso Iris	8,50	0,00	0,00	0,50	0,00	9
<i>Tot.</i>	42,5	2	0,0	1,5	0,0	46
Totale	80	16	1	4,5	8	109,5

Berruto Matteo ASPP (palazzina B): 0,50

Schiavone e Aiuto: hanno iniziato il dottorato e novembre 2021

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO**Biosicurezza**

Obiettivi. Questo tema di ricerca ha l'obiettivo di realizzare una facility per la crescita e manipolazione di microorganismi di Classe 2 al fine di i) studiare la resistenza a varie tipologie di agenti antimicrobici, ii) rilevare la presenza di microorganismi e farmaci in matrici alimentari, iii) studiare nano-materiali e/o prodotti naturali con proprietà antibatteriche per packaging alimentare iii) sviluppare dei sistemi di misura innovativi (per esempio tramite l'accoppiamento della spettroscopia Raman con la dielettroforesi) per l'identificazione e la quantificazione di virus e batteri in sospensione, e studiarne l'interazione con agenti antivirali e antibatterici.

Attività svolta. Il progetto ViraDEP ha l'obiettivo di sviluppare un dispositivo basato sull'accoppiamento della spettroscopia Raman con le potenzialità della dielettroforesi (DEP), per l'identificazione di virus di diversa natura (vegetali ed umani) e per la valutazione dell'efficacia di agenti antivirali. L'utilizzo del dispositivo Raman-DEP ha permesso la creazione di un database di spettri Raman che sono il punto di partenza per lo sviluppo di strumenti "point-of-care", utilizzabili da personale non addestrato per la diagnosi di patogeni emergenti, non solo in campo sanitario, ma anche in campo ambientale e agricolo.

Risultati ottenuti. Database di spettri Raman di batteri delle piante e database di spettri Raman di virus vegetali 1 pubblicazione su rivista internazionale (Applied Sciences)

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).

Attività svolta. Studio della quantificazione delle proprietà antimicrobiche di AgNPs di diverse dimensioni immobilizzate su una superficie. Tre diverse dimensioni di AgNP sferoidali con un diametro di (6, 30 e 52) nm sono state sintetizzate e caratterizzate con UV-vis, SEM, TEM e ICP-MS. Sono state studiate la MIC (Minimal Inhibitory Concentration) e l'MBC (Minimal Bactericidal Concentration) contro il batterio di *Escherichia coli*.
Risultati ottenuti. 1 pubblicazione su rivista internazionale (Colloids and Surfaces B: Biointerfaces)

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.

Attività svolta. Nell'ambito dell'economia circolare sono stati utilizzati scarti alimentari della produzione di vino e olio da cui estrarre molecole con proprietà antiossidanti. A seguito di opportuna selezione delle frazioni più attive, sono stati prodotti packaging attivi mediante bio-polimeri di acetato di cellulosa e caratterizzate in base alle norme ISO le proprietà antibatteriche e antiossidanti dei film prodotti. Infine, sono stati eseguiti test di shelf-life su matrici reali quali la carne.

Risultati ottenuti. Sono state messe a punto metodiche standard, quali DPPH ed ORAC, per la valutazione delle proprietà antiossidanti, ed il metodo TBARS per la valutazione della shelf-life di matrici alimentari grasse/oleose. Sono stati inoltre prodotti film attivi di biopolimeri, opportunamente modificati con frazioni attive di scarti alimentari selezionati, che hanno dimostrato una protezione dall'ossidazione della matrice alimentare del 60%.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Metrologia Raman

Obiettivi. Sviluppo della tecnica di Tip Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) mediante la quantificazione dell'effetto di amplificazione in configurazione AFM e STM. Sviluppo di un metodo d'analisi con riferibilità alle unità del SI. Partecipazione ai confronti interlaboratorio nell'ambito del Surface Analysis Working Group (SAWG) del CCQM. Partecipazione a confronti interlaboratorio per la taratura di spettrometri Raman confocali attraverso materiali di riferimento.

Partecipazione a confronti interlaboratorio in ambito pre-normativo VAMAS per la caratterizzazione del numero di layers e il grado di disordine in flake di grafene. L'attività è prevista nell'ambito del progetto 19NRM04 ISO-G-Scope.

Attività svolta. Nell'ambito dell'attività VAMAS TWA 42 si è partecipato ai seguenti progetti: i) "identificazione mediante spettroscopia Raman di miscele di TiO₂". ii) Misurazione della risoluzione laterale e assiale di microscopio Raman. iii) Misurazione della risoluzione laterale tramite microscopia Raman utilizzando artefatti di nanofili. Per entrambi i progetti, combinando i dati sperimentali e l'analisi chemiometrica, si è sviluppata una procedura standard (SOP) per ottenere la misura di interesse con relativa valutazione dell'incertezza

Risultati ottenuti. 1 pubblicazione su rivista internazionale (Journal of Raman Spectroscopy)

Metrologia applicata all'analisi degli additivi alimentari

Obiettivi. Sviluppo del sistema di misura per la determinazione dell'anidride solforosa nel vino in base ai requisiti indicati nella Risoluzione OIV-OENO 591A-2018 dell'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino. E' stata effettuata la valutazione dell'incertezza in modo da poter stabilire la tracciabilità alle unità del SI. Partecipazione a confronti di misura.

Attività svolta. Per verificare se con il metodo ufficiale OIV-OENO 591A-2018 è possibile estrarre in modo completo l'anidride solforosa libera da un campione a concentrazione nota è stata effettuata una valutazione dell'incertezza di misura del metodo ufficiale ed è stato organizzato e svolto un confronto di misura fra nove laboratori esperti dislocati in Piemonte su un campione di simil-vino.

Risultati ottenuti. 1 Rapporto Tecnico INRiM, 15/2021

Analisi per Attivazione Neutronica

Obiettivi. Sviluppo di metodi analitici basati sull'AAN (Analisi per Attivazione Neutronica) per la caratterizzazione, certificazione e studi di provenienza di alimenti e materie prime utilizzate nella nutrizione umana ed animale. Tali metodi sono applicati per la determinazione della frazione di massa di elementi presenti come componenti principali o in tracce, nutrienti e tossici.

Attività svolta. Analisi elementare di matrici alimentare per caratterizzazione, studi di provenienza e discriminazione tramite elementi "finger print". Sviluppo di metodo di analisi per partecipazione a confronto di

misura internazionale.

Risultati ottenuti. Partecipazione a confronto internazionale in ambito CCQM (in conclusione e pubblicazione). scrittura di lavoro scientifico su analisi di matrici alimentari (in pubblicazione).

Contaminanti alimentari

Obiettivi. Sviluppo e validazione di metodi per l'identificazione chimica e la rilevazione di micro e nanoplastiche in matrici alimentari

Attività svolta. Definizione di SOP per la misura di microplastiche in acqua potabile mediante tecniche di spettroscopia vibrazionale con valutazione dell'incertezza di misura associata. Sviluppo di un metodo di analisi ifenato delle micro/nanoplastiche mediante accoppiamento di sistema di frazionamento AF4 e di identificazione chimica mediante spettroscopia Raman.

Risultati ottenuti. Approvazione progetto metrologico Europeo per la call EPM Green Deal 2021 21GRD07 PlasticTrace "Metrological traceability of measurement data from nano to small-microplastics for a greener environment and food safety" (Ruolo: Coordinamento)

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Infrastruttura Metrologica Per la Sicurezza Alimentare (IMPreSA)

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

Attività svolta. Tecnica: - Collaudo dello strumento GC-EA-IRMS, Collaudo AF4, Stesura della relazione finale del progetto IMPreSA, Corsi di formazione base ed avanzata per l'utilizzo dello spettrometro NMR 600 MHz, Corso Teorico e Pratico per il corso relativo all'utilizzo dei Gas Tossici, realizzazione di video divulgativi per presentare l'Infrastruttura alla comunità scientifica e alla cittadinanza, in collaborazione con l'ufficio comunicazione.

Scientifica: Caratterizzazione e discriminazione di grappe in base alla tecnica di affinamento tramite spettroscopia 1 H NMR e applicazione di tecniche chemiometriche. In lavoro è stato fatto in collaborazione con il CREA, che ha preparato e fornito e campioni, e li ha caratterizzati tramite GC-MS

Risultati ottenuti. Tirocinio curriculare e relativa relazione della studentessa Angela Leggio, studentessa Magistrale in Chimica Industriale (Tutor accademico. Giuliana Magnacca, Tutor aziendale: Chiara Portesi).

Progetto scuole

Obiettivi. Il Settore partecipa al progetto Scuole, promosso dal Presidente, che ha l'obiettivo di divulgare la metrologia a studenti e personale scolastico nelle scuole superiori.

Attività svolta. 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.

Risultati ottenuti. Definizione del primo video e contatti con il museo Egizio per collaborare con loro per quanto riguarda gli approfondimenti sulla scienza della misura nel modo egizio.

Network europeo sulla sicurezza alimentare

Obiettivi. 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

Attività svolta. 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. Sviluppo di 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 ottenuti. 1 pubblicazione su rivista internazionale (Measurement: Sensors)

Settore QN2 - Elettronica quantistica
Responsabile: Luca Callegaro

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione (valenza economica)</i>	<i>Terza missione (valenza culturale)</i>	<i>Gestione & coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale TI						
Callegaro Luca	4,50	3,00	1,50	0,50	1,50	11,00
Cassiano Cristina	4,00	7,00	0,00	0,00	0,00	11
D'Elia Vincenzo	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	11
Durandetto Paolo	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	5
Enrico Emanuele	8,00	0,00	0,00	1,00	2,00	11
Gasparotto Enrico	4,00	7,00	0,00	0,00	0,00	11
Gionco Chiara	4,50	0,00	1,00	0,00	0,00	5,5
Oberto Luca	9,00	2,00	0,00	0,00	0,00	11
Serazio Danilo	5,00	5,00	0,00	0,00	1,00	11
Trinchera Bruno	6,00	4,00	1,00	0,00	0,00	11
Personale TD						
Cultrera Alessandro	1,00	0,00	4,50	0,00	0,00	5,5
Germite Gabriele	0,00	0,00	6,50	0,00	0,00	6,5
<i>Tot.</i>	<i>53,5</i>	<i>36,5</i>	<i>14,5</i>	<i>1,5</i>	<i>4,5</i>	<i>110,5</i>
Assegni ricerca						
Cultrera Alessandro	4,00	0,00	1,50	0,00	0,00	5,5
Marzano Martina	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Borse di addestramento alla ricerca						
Pala Stefano	0,5	0	0	0	0	0,5
PhDs						
Fasolo Luca	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Greco Angelo	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Tran Ngoc Thanh Mai	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6
Personale associato						
Ortolano Massimo	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Tran Ngoc Thanh Mai	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5
<i>Tot.</i>	<i>50,5</i>	<i>0,0</i>	<i>1,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>52</i>
Totale	104	36,5	16	1,5	4,5	162,5

Danilo Serazio ASPP

Alessandro Cultrera (passaggio da assegno a CTER), Gabriele Germite (assunzione CTER)

Chiara Gionco: 5,5 mesi in QN5 (segnalato da Gionco)

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Caratterizzazione di dispositivi e sistemi

Obiettivi. a) Caratterizzazione elettrica di materiali 2D. b) Caratterizzazione di dispositivi a effetto Hall quantistico prodotti dal PTB.

Attività svolta. a) Progetti 20FUN03 COMET e 20FUN06 MemQuD: Electrical Resistance Tomography (ERT) e noise spectroscopy. b) Progetto 18SIB07 GIQS: caratterizzazione in regime continuo e alternato di dispositivi a effetto Hall quantistico in grafene fabbricati al PTB in ambiente criomagnetico.

Risultati ottenuti. a) Sviluppo della nuova fixture per misure ERT e noise su nanofili. Misure preliminari. b) Valutazione della quantizzazione in regime ac di dispositivi in grafene nell'ambito del progetto GIQS.

Realizzazione quantistica del farad nel nuovo SI

Obiettivi. Ottimizzazione del ponte di impedenza digitale INRiM per la realizzazione del farad dall'effetto Hall

quantistico. Progetto EURAMET #1501 *Technical assessment of novel impedance bridges* (INRiM, PTB).

Attività svolta. Test del ponte di impedenza digitale-elettronico INRiM per la realizzazione del farad dall'effetto Hall quantistico con campioni in grafene in ambiente criomagnetico. Confronto con il ponte di impedenza digitale-Josephson del PTB, secondment EMPIR 18SIB07-RMG1 di assegnista di ricerca al PTB.

Risultati ottenuti. Il ponte di impedenza digitale INRiM risulta ottimizzato per la realizzazione del farad dall'effetto Hall quantistico. Pubblicazione in preparazione.

Manipolazione di singoli fotoni nel regime delle microonde

Obiettivi. a) Progetto 20FUN07 SuperQuant: identificazione di schemi di misura e riferibilità parametri S in ambiente criogenico b) EMPIR 17FUN10 Parawave: modellazione e realizzazione di dispositivi per la manipolazione di singoli fotoni a microonda. c) (coll. con QN04), FET-Open SuperGalax modelling e realizzazione di sorgente di singolo fotone heralded nel range delle microonde. d) 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 per la fisica fondamentale.

Attività svolta. a) identificazione di dispositivi commerciali per la messa in punto di sistema di misura criogenico di parametri S e modellistica. Kick-off meeting del progetto b) Modello quantistico per amplificazione parametrica broadband basato su JTWPA e per quantificazione rumore aggiunto. Caratterizzazione dispositivi nell'ambito di RMG in collaborazione con NPL. c) Realizzazione di JTWPA basati su array di rf-SQUIDs in alluminio.

Risultati ottenuti. a) identificati possibili campioni di riferimento e dispositivi per il sistema. Identificati possibili schemi di misura per parametri di scattering ad 1 e 2 porte b) Pubblicazione scientifica c) Pubblicazione scientifica. d) Pubblicazione scientifica con INFN-LNF.

Elettronica singolare per la realizzazione pratica dell'ampere

Obiettivi. Dispositivi mesoscopici e setup di misura criogenico per la manipolazione e la rilevazione di cariche elettriche elementari.

Attività svolta. Allestimento del laboratorio B013b "Quantum Circuits Lab" e definizione delle catene di misura di caratterizzazione di dispositivi mesoscopici con giunzioni tunnel sub-micrometriche. Allestimento dei software di misura in DC e RF di nanodispositivi quantistici per l'elettronica singolare.

Risultati ottenuti. Dimostratore sperimentale per caratterizzazione di dispositivi elettronici con correnti nel range 10 pA - 10 nA e tensioni nel range 1 uV - 10 mV. Conclusione allestimento del laboratorio di criogenia e primi test in-house del criostato a diluizione.

Potenza ed energia elettrica nel nuovo SI

Obiettivi. Progetto 19RPT01 QuantumPower: Realizzazione del campione di potenza ed energia elettrica nel nuovo SI impiegando gli effetti quantistici elettrici (effetto Josephson).

Attività svolta. Studio e allestimento nuovo commutatore coassiale sincrono; Progetto sistema criogenico (dewar più criosonda) trasportabile; progetto e realizzazione derivatore coassiale di corrente termostato.

Risultati ottenuti. Realizzazione e misure di guadagno e sfasamento singoli canali del commutatore sincrono coassiale; Primo allestimento sistema criogenico per test e verifica dispositivo SNS 1-V PJVS; Ripristino e test elettronica veloce per la polarizzazione di singole sezioni dispositivo programmabile Josephson PJVS; Caratterizzazione derivatore coassiale di corrente compensato in temperatura in termini di differenza ac-dc nel range 2-5 A e frequenze 10 Hz - 100 kHz.

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Alla Divisione afferiscono i campioni quantistici delle unità SI elettriche, e i campioni nazionali di resistenza elettrica, capacità, induttanza, potenza ed energia, potenza RF e parametri di scattering. 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. INRiM ha partecipato nel 2020 al confronto EURAMET.EM-K5, si attende Draft A.

Campione nazionale quantistico di tensione elettrica

Obiettivi. Realizzazione dell'unità di tensione elettrica nel nuovo SI tramite l'effetto Josephson (campione PJVS) e riferibilità del campione nazionale di tensione elettrica.

Attività svolta. Studio e implementazione nuovo sistema criogenico per il campione quantistico PJVS da 1 V, atto alla sintesi di tensioni continue e alternate fino a 1 kHz. Studio e valutazione dell'implementazione del campione quantistico a 10 V. a.

Risultati ottenuti. Allestimento setup sperimentale Acquisto parziale del sistema PJVS a 10 V per la generazione di tensioni continue programmabili.

Unità e scale di impedenza elettrica

Obiettivi. 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 (progetto 17RPT04 VersICaL) e in preparazione ai confronti EURAMET.EM-K3 (10 mH, 1 kHz) e EURAMET.EM-K4 (10-100 pF, 1592 Hz).

Attività svolta. Confronti tra il sistema di misura in uso (three-voltage method) e un nuovo ponte digitale per la realizzazione del campione di induttanza e di capacità. Conclusione del progetto VersICaL.

Risultati ottenuti. Pubblicazioni scientifiche. Validazione del nuovo sistema di riferibilità.

Riferibilità delle grandezze elettriche all'estremo inferiore della scala

Attività svolta. Progetto EURAMET #1466. Messa in servizio del nuovo sistema di taratura per correnti nel campo 2 nA - 5 uA con amplificatore a transresistenza di precisione. Taratura di picoamperometri per misure fotometriche e radiometriche. Collaborazione con UNINA per taratura di elettroencefalografi.

Risultati ottenuti. Conclusione del progetto EURAMET #1466 e pubblicazione del report e dei risultati. Dichiarazione nuove CMC per la corrente continua nel range 10 fA - 5 uA (in attesa di pubblicazione) e pubblicazione del confronto. Taratura riferibile di elettroencefalografi e pubblicazione dei risultati.

Metrologia per RF&MW

Obiettivi. Introdurre nuova riferibilità in accordo con EURAMET cg-12 per la misura di Parametri di Scattering. Conferma metrologica del sistema di misura. Aggiornamento procedura tecnica. Conduzione di due ILC grandezza Parametri di Scattering in connessione PC-N e PC-3.5mm.

Attività svolta. Introduzione nuovo metodo per la riferibilità del sistema di misura di parametri S in accordo con il documento EURAMET cg-12. Esecuzione conferma metrologica per le quattro tipologie di connessione in uso (PC-N, 3.5mm, 2.92mm e 2.4mm). Aggiornamento procedure tecniche. Richiesta estensione CMC nel campo di frequenza 9 kHz-50 MHz. Conduzione ILC EM-RF01-2021 (connessione PC-N fino a 18 GHz) ed EM-RF02-2021 (connessione PC-3.5mm fino a 26.5 GHz)

Risultati ottenuti. Conferma metrologica del sistema di misura dei parametri di scattering avvenuta con esito positivo nel campo di frequenza 9 kHz-50 GHz (connessioni N, 3.5mm e 2.4mm) e nel campo 50 MHz-40 GHz (connessione 2.92mm) con emissione dei relativi 4 rapporti tecnici. Estensione delle CMC nel campo 9 kHz-50 MHz approvata ed online sul KCDB. Conclusione con esito positivo di ILC.

Metrologia delle forti correnti

Obiettivi. Sviluppo di capacità di taratura di sensori per forti correnti

Attività svolta. Analisi di sistemi di taratura di sensori per forti correnti mediante multimetri numerali, derivatori e trasformatori di corrente.

Risultati ottenuti. Sviluppo di modelli matematici di misura (RT INRiM).

Campione nazionale di potenza, tensione e corrente elettrica in regime alternato

Obiettivi. Estensione campi misura campione primario di potenza ed energia elettrica, tensione e corrente in regime alternato.

Attività svolta. Aggiornamento procedure tecniche. Esperimenti verifica per l'estensione in frequenza del campione primario di potenza ed energia. Completato primo run di confronto tra il dispositivo PMJTC-PTB e il gruppo di riferimento base dell'INRiM. Indagini per identificazione discrepanza osservata a 500 kHz-1 MHz. Iniziato studio di fattibilità e primi test volti alla realizzazione della scala primaria tensione AC nel campo dei mV impiegando un nuovo metodo basato su un convertitore AC/DC micropotenziometrico. Conclusione misure per il confronto internazionale EURAMET.EM-K5.

Risultati ottenuti. Pubblicazioni scientifiche. Draft A di EURAMET.EM-K5 in corso di pubblicazione.

Convenzione INRiM-MISE contatori di energia (in collaborazione con AE)

Attività svolta. 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 ottenuti. Verifica di contatori elettrici commerciali in condizioni di bassa power quality secondo normativa internazionale. Automazione di metodi di taratura di contatori per confronto. Pubblicazioni.

Realizzazione pratica dell'ohm tramite l'effetto Hall quantistico

Obiettivi. Realizzazione del campione quantistico di resistenza elettrica

Attività svolta. Realizzazione dell'effetto Hall quantistico e trasferimento della riferibilità a campioni di resistenza elettrica con sistema potenziometrico e con ponti a comparatore di corrente (CCC, DCC).

Risultati ottenuti. Riferibilità al campione nazionale di resistenza e di capacità. Confronto di sistemi di misura a livello di 10 ppb.

Struttura di riferibilità delle unità elettromagnetiche

Attività svolta. Realizzazione pratica, nel nuovo SI, dell'ampere, ohm, siemens, coulomb, farad, henry, watt, joule. Mantenimento dei campioni nazionali (DM 591/1994) di: 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 ottenuti. Superamento non conformities Peer Review EURAMET #1123. Emissione ca. 50 certificati di taratura. Attività di ILC per potenza ed energia elettrica, impedenza.

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). EURAMET TC-EM SC DC&QM, LF, P&E, RF&MW. CCEM: Delegate (2017-), Working group on Regional Metrology Organizations (2019-2022), WGLF, GT-RF. CPEM Executive Committee, member-at-large (2019-2022).

Risultati attesi. SC-DC&QM, LF, RF&MW meetings. CCEM meeting, WGLF, GT-RF meetings..

Supporto a normazione, regolamentazione, metrologia legale

Attività svolta. 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."

Risultati ottenuti. Allestimento strutturale, acquisizione personale, identificazione condizioni di verifica in regime non distorto.

Certificazione tecnica e accreditamento

Attività svolta. 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 ottenuti. Soddisfazione ruolo NMI, autofinanziamento.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi. Knowledge transfer presso esperti e il grande pubblico, in ambito nazionale e internazionale.

Risultati ottenuti. Expertise tecnica per ACCREDIA. Evoluzione a "Committee Draft" dei progetti IEC 62607-6-7 e 62607-6-8. Case studies e interviste (progetto 16NRM01 GRACE). Training di studenti di laurea triennale, specialistica, dottorato in metrologia. Erogazione corsi di III livello e PhD schools. Conferenze e seminari didattici per la diffusione del nuovo SI. Partecipazione a evento "Cocktail di scienza" per le Settimane della Scienza, videoconferenze. Premio IEC 1906. Seminari storici in collaborazione con UNITO e IEEE.

Settore QN3 - Fotometria e radiometria
Responsabile: Giorgio Brida

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Brida Giorgio	3,00	1,00	6,00	0,00	1,00	11,00
Filippo Roberto	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Meda Alice ³	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8
Rajteri Mauro	9,00	1,00	0,50	0,50	0,00	11
Sosso Andrea ⁵	7,00	2,50	0,00	0,00	1,50	11
Terzi Marco ²	0,00	4,00	6,00	0,00	1,00	11
Viarengo Fernando ¹	0,00	3,00	3,00	0,00	5,00	11
Personale TD						
Durandetto Paolo ⁴	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6
<i>Tot.</i>	44	11,5	15,5	0,5	8,5	80
Borse di addestramento alla ricerca						
Garrone Hobey (dal 15-12-2021)	0,5	0	0	0	0	0,5
PhDs						
Pepe Carlo	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Personale associato						
Del Piano Franco	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
<i>Tot.</i>	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5
Totale	66,5	11,5	15,5	0,5	8,5	102,5

1 - Svolge attività anche come assistente per la qualità in SGQ;

2 - Svolge attività anche come referente di divisione per il SPP;

3 - Restante frazione mesi persona in altro settore (QN4);

4 - Trasferimento al settore QN2;

5 - Trasferimento alla divisione AE

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Rivelatori di singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo di sensori superconduttivi a transizione di fase (TES) ad alta risoluzione energetica.

Attività svolta. 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 μm^2 per l'applicazione in un haloscope per la ricerca di *dark photon*.

Risultati ottenuti. 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. Studio sistematico che coinvolge la simulazione e le tecniche sperimentali per sviluppare fotorelevatori di silicio a giunzione indotta passivati con SiO₂ cresciuto termicamente e film sottili di SiN_x depositati per PECVD.

Attività svolta. Caratterizzazione e della modellazione delle proprietà ottiche dei materiali depositati.

Risultati ottenuti. ottimizzate le condizioni di deposizione dei film per ridurre al minimo le perdite di ricombinazione all'interfaccia silicio-dielettrico e le perdite ottiche. I risultati preliminari mostrano che i PQED basati sui fotodiodi passivati con stack di SiO₂/SiN_x hanno carenze quantistiche trascurabili con IQD fino a 1 ppm entro un'incertezza di misura di 30 ppm.

Fotometria classica e quantistica

Obiettivi. Realizzazione ghost imaging plenottico.

Attività svolta. Realizzazione di sorgente pseudotermica (a speckle) correlata ad alta risoluzione; ingegnerizzazione delle speckle in termini di larghezza e lunghezza di coerenza; individuazione di piani a speckle indipendenti, utili per ricostruire, tramite l'utilizzo congiunto di tecnica ghost imaging e imaging plenottico, due differenti piani di un oggetto. Ottimizzazione dell'array di lenti della camera plenottica, per aumentare la risoluzione delle immagini ghost ricostruite.

Risultati ottenuti Ricostruzione di un'immagine ghost di una fenditura, posta nel ramo di luce mandato ad un detector bucket, tramite correlazione con due differenti piani di speckle nel ramo correlato, in modo da ottenere un'immagine a fuoco indipendentemente dal piano focale in cui è posizionato l'oggetto.

Radiometria a singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo di setup per caratterizzazione metrologica di parametri di sorgenti e rivelatori a singolo fotone Si SPAD (850nm), InGaAs-InP SPAD (1550nm), SNSPD e microonde.

Attività svolta. studio della risposta di rivelatori a singolo fotone free running alla luce inviata tramite laser attenuato impulsato. Sviluppo di un modello analitico per questo regime particolare, considerando gli effetti di conteggi di buio e tempo morto sul rate di fotoni misurati. Validazione del modello tramite sorgente con numero medio di fotoni per impulso da 0.2 a 20 e con repetition rates sia inferiori che superiori all'inverso del tempo morto.

Per quanto riguarda i fotoni a microonda, sviluppo di un modello quantistico per metamateriali basati su giunzioni Josephson operanti in regime di three-wave mixing (3WM) e four-wave mixing (4WM) a livelli di singolo fotone. Calcolo del guadagno e della distribuzione di probabilità del numero di fotoni, in funzione del tempo, in uscita dal dispositivo, considerando sia stati di Fock che stati coerenti in ingresso.

All'estensione banco ottico dedicato per la misura dell'efficienza quantica di rivelatori InGaAs-InP SPAD; aggiunta di elementi di controllo della polarizzazione per la misura dell'efficienza di SNSPD

Risultati ottenuti. Pubblicazione del modello analitico di risposta di un rivelatore SPAD free running illuminato da sorgenti impulsive operanti a diversi regimi di numero di fotoni per impulso e repetition rate. (<https://doi.org/10.1063/5.0046014>)

Pubblicazione del modello quantistico per emissione di coppie di fotoni correlati a microonda tramite 3WM e 4WM. (<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.184517>)

Installazione e messa in funzione di due detector SNSPD e misura dell'efficienza quantica, per conferma di specifiche tecniche (80%)

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Obiettivi. Realizzazione e disseminazione delle unità radiometriche e fotometriche per la caratterizzazione di rivelatori e materiali, con partecipazione ai confronti internazionali in ambito EURAMET e CCPR..

Attività svolta. Key-comparison Euramet K3.2020 (intensità luminosa): software acquisizione automatica dati per l'invecchiamento e la misura di temperatura correlata di colore delle lampade campione di trasferimento; Key-comparison Euramet K6.2018 (trasmissione in filtri neutri) pre-Draft A: review budget di incertezza; comparison supplementare Euramet S4.2012 (taratura di radiometri UVA) pre-Draft A: review budget di incertezza; comparison supplementare COOMET (NSC IM pilota) sulla misura di lunghezza d'onda in materiali ottici spettralmente selettivi : preparazione del protocollo di misura.

Revisione procedure tecniche di misura (luminanza e materiali ottici).

Risultati ottenuti. Key-comparison Euramet K3.2020: preparazione dei campioni viaggiatori. Ripristino del servizio di taratura glossometri.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Supporto alla formazione universitaria e diffusione delle conoscenze tecnologiche e scientifiche sulla misura della radiazione ottica e dei campioni quantistici superconduttivi.

Nell'ambito del supporto all'industria è partito un contratto tecnologico (PROSPECT IS) per la caratterizzazione di un sistema di imaging (illuminatore LED e camera) facente parte di un sistema di prospezione della superficie lunare di una prossima missione spaziale (Luna 27). Principale risultato è stato lo sviluppo di un modello radiometrico software per la stima della risposta della camera all'illuminazione artificiale (LED) e quella solare, in diverse condizioni operative diverse, tenuto conto delle caratteristiche ottiche della superficie lunare, della struttura geometrica e delle proprietà ottiche dei materiali del sistema PROSPECT.

Accreditamento laboratori di taratura supporto ad ACCREDIA: ispettori tecnici ed esperti per le grandezze fotometriche e radiometriche (intensità luminosa, luminanza)

Settore QN4 – Ottica Quantistica
Responsabile: Marco Genovese

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	R&S	Ruolo NMI	Terza missione (valenza economica)	Terza missione (valenza culturale)	Gestione & coordinamento	Totale
Personale TI						
Avella Alessio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Bernardi Ettore	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Degiovanni Ivo Pietro	7,50	1,00	0,00	0,50	2,00	11
Genovese Marco	8,00	1,00	0,00	0,00	2,00	11
Gramegna Marco	9,00	0,50	0,00	0,50	1,00	11
Meda Alice	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3
Moreva Ekaterina	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Piacentini Fabrizio	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	11
Ruo Berchera Ivano	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Sacomandi Fabio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Traina Paolo	10,00	0,00	0,00	0,50	0,50	11
<i>Tot.</i>	<i>102,5</i>	<i>3,5</i>	<i>0,0</i>	<i>1,5</i>	<i>5,5</i>	<i>113</i>
Assegni ricerca						
Boucher Pauline	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Knoll Laura	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
Napoli Carmine	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,5
Rebufello Enrico	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
Virzi Salvatore	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Borse di addestramento alla ricerca						
Paniate Alberto	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3
PhDs						
Flaks Mikhaylo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Ortolano Giuseppe	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Paniate Alberto	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5
Petrini Giulia	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Picariello Fabio	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Prasad Priyasheel	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Personale associato						
Andrini Greta	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Corte Emilio	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Ditalia Tchernij Sviatoslav	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Forneris Jacopo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
Olivero Paolo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
<i>Tot.</i>	<i>95,5</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>95,5</i>
Totale	198	3,5	0	1,5	5,5	208,5

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Generazione, applicazione e misura di luce sub-Poissoniana

Obiettivi. Sviluppo di nuove tecniche di quantum metrology, imaging & sensing basate sulla luce subPoissoniana

Attività svolta: Si e' completato il ghost imaging plenottico richiedendo un brevetto, si sta allestendo il set-up

phase imaging sub-shot-noise di cui si è completato lo studio teorico. Si è realizzato un esperimento su un protocollo di quantum conformance test.

Si è allestito il set-up di un esperimento di super-risoluzione coniugando tecniche di luce strutturata con metodi basati sulla misura di funzioni di correlazione di ordine $n \geq 2$ basato sull'emissione da centri NV in diamante. Si è proseguito 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 ottenuti. Articolo sottomesso su misure su cellule in vitro con tecniche ODMR da fluorescenza a singolo fotone da centri NV in diamante, brevetto proposto su ghost imaging plenottico, Due articoli su Science Adv. circa misure di quantum reading e quantum conformance con twin beams. Pre-print su teoria quantum enhanced phase imaging su arXiv.

Nuovi paradigmi della misura quantistica

Obiettivi. Applicazioni alla metrologia quantistica di nuovi paradigmi di misura della meccanica quantistica.

Attività svolta: Si sono studiate sperimentalmente (su fotoni) le tecniche connesse alle misure deboli (weak values) con particolare riguardo agli stati entangled. Si sono studiate misure su stati entangled nonché l'innovativo concetto di "agents" in termodinamica quantistica. Si sono sviluppati metodi innovativi di misura quantistica basati sull'entanglement, realizzando una sorgente intensa basata su un interferometro Sagnac. Si è studiata una reinterpretazione dell'evoluzione della funzione d'onda.

Si sono verificate le possibilità di utilizzo di computer quantistici online (ad esempio IBM_Q) per simulazioni di protocolli quantistici.

Risultati ottenuti. Articolo su misure robuste con weak values (Light & Science applications) e articolo su protective measurements (Applied Science). Sottomesso articolo circa lo studio della irreversibilità in meccanica quantistica. Articolo su Science Advances circa reinterpretazione evoluzione funzione d'onda. Tesi di laurea circa le possibilità di utilizzo di computer quantistici online (ad esempio IBM_Q) per simulazioni di protocolli quantistici.

Sorgenti a singolo fotone

Obiettivi. Sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

Attività svolta: Si sono studiati nuovi centri di colore (Pb, Al) 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 è realizzato un microscopio confocale a 1550nm.

Si è studiata la caratterizzazione di sorgenti a singolo fotone.

Risultati ottenuti. Pubblicati 2 articoli su sorgenti a singolo fotone con centri di colore in diamante (Al,Pb).

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Standardizzazione QKD

Obiettivi. Sviluppo di standard per le tecnologie quantistiche

Attività svolta: E' proseguita la collaborazione con lo European Telecommunication Standard Institute per la definizione di documenti di standardizzazione per la crittografia quantistica, in particolare per quanto riguarda il documento relativo alla caratterizzazione dei QKD Transmitter Modules e quello relativo alla caratterizzazione dei QKD Receiver Modules, nonché la collaborazione con il Focus Group on Quantum Technologies (FGQT) del CEN-CENELEC per la scrittura delle Roadmap sulla standardizzazione delle Tecnologie Quantistiche, contestualmente alla collaborazione con l'ente di normazione nazionale UNI relativamente al Mirror Group FGQT.

Risultati ottenuti: documenti ETSI, documenti CEN/CLC FGQT, Articolo relativo a EMN-Q pubblicato su Measurement: Sensors

Taratura dispositivi per QKD

Obiettivi. Sviluppo di metodi di caratterizzazione di dispositivi per la QKD e confronto con altri NMI.

Attività svolta: Sono proseguiti gli studi ed i confronti su rivelatori e sorgenti a singolo fotone al fine di giungere ad un sistema integrato a livello degli NMI dell'Unione Europea.

Risultati ottenuti. Articolo sulla modellizzazione di dead time e dark counts pubblicato su *Appl. Phys. Lett.* Articolo su analisi, design e implementazione di link QKD pubblicato su Proceedings SPIE Quantum Communications and Quantum Imaging XIX, Pre-print su nuovo modello di caratterizzazione della efficienza quantica di rivelatori SPAD e relativa dipendenza al variare del regime di conteggio (ArXiv).

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Divulgazione della cultura metrologica

Obiettivi. Diffusione della cultura metrologica. a) Secondment di ricercatori internazionali. b) Dottorato in Fisica, Politecnico di Torino. Partecipazione al Consiglio di Dottorato e erogazione di corsi di dottorato. c) Tutoring di studenti. d) Conferenze, interventi, seminari, interviste per i media.

Attività svolta: Si è svolta 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.

Risultati ottenuti. Un corso per studenti medi, un corso dottorato, 5 tesi I livello, una II livello, Allestimento sperimentale didattico per evento Notte dei Ricercatori 2021 - Sharper Night, Video Interviste per evento INRiM *Cocktail di scienza - Il stagione*.

Settore QN5 - Tempo e frequenza
Responsabile: Filippo Levi

Personale impegnato (Mesi/Persona)

	<i>R&S</i>	<i>Ruolo NMI</i>	<i>Terza missione (valenza economica)</i>	<i>Terza missione (valenza culturale)</i>	<i>Gestione & coordinamento</i>	<i>Totale</i>
Personale TI						
Bertacco Elio Keith	5,50	5,50	0,00	0,00	0,00	11
Bertaina Gianluca	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Calonico Davide	4,40	1,10	0,00	1,10	2,20	8,8
Calosso Claudio	8,00	0,00	0,00	1,00	1,00	10
Cantoni Elena	4,40	6,60	0,00	0,00	0,00	11
Cerretto Giancarlo	4,40	5,50	0,00	1,10	0,00	11
Clivati Cecilia	7,00	1,50	1,00	0,50	1,00	11
Concas Roberto	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Costa Roberto	0,00	8,00	0,00	0,00	3,00	11
Fiasca Franco	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1
Gionco Chiara	4,50	0,00	1,00	0,00	0,00	5,5
Levi Filippo	3,30	2,20	2,20	1,10	2,20	11
Micalizio Salvatore	8,00	2,00	0,00	0,00	1,00	11
Mura Alberto	5,00	5,00	1,00	0,00	0,00	11
Perucca Andrea	0,00	5,50	5,50	0,00	0,00	11
Pizzocaro Marco	8,00	2,00	0,00	0,00	1,00	11
Rocci Roberto	7,50	0,00	2,50	0,00	0,00	10
Santambrogio Gabriele	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Sellone Marco	3,30	6,60	0,00	1,10	0,00	11
Sesia Ilaria	2,00	1,00	8,00	0,00	0,00	11
Sias Carlo	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	11,5
Signorile Giovanna	2,00	1,00	8,00	0,00	0,00	11
Tarallo Marco Giacinto	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Terzi Paolo	0,50	10,50	0,00	0,00	0,00	11
Personale TD						
Donadello Simone	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	2
Fiasca Franco (TI dal 01-12-2021)	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	10
Gozzelino Michele	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
<i>Tot.</i>	<i>145,3</i>	<i>64</i>	<i>40,7</i>	<i>6,4</i>	<i>11,4</i>	<i>267,8</i>
Assegni ricerca						
Aprile Giulia	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Barbiero Matteo	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Donadello Simone	8,50	0,00	0,50	0,00	0,00	9
Duca Lucia	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12
Formichella Valerio	5,50	0,00	5,50	0,00	0,00	11
Insero Giacomo	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Perego Elia	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
Risaro Matias	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Thanh Tung Thai	1,10	1,10	8,80	0,00	0,00	11
Borse addestramento ricerca di alla						
Mizukami Naoto	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5
PhDs						
Berto Federico	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
Condio Stefano	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5

Goti Irene	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11
Mizukami Naoto	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2
Personale associato						
Costanzo Giovanni						
Antonio	3,30	3,30	0,00	0,00	0,00	6,6
Pollastri Fabrizio	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	3,3
Rubiola Enrico	2,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3
<i>Tot.</i>	<i>114,4</i>	<i>7,7</i>	<i>14,8</i>	<i>1</i>	<i>0,0</i>	<i>137,9</i>
Totale	259,7	71,7	55,5	7,4	11,4	405,7

ATTIVITÀ RICERCA E SVILUPPO

Campioni ottici di frequenza

Obiettivi. Miglioramento del campione ottico all'Yb e sviluppo di un campione quantum enhanced basato su atomi di Sr.

Attività svolta. Il campione ottico IT-Yb1 ha ricevuto una nuova caratterizzazione a seguito dei miglioramenti sperimentali sulla trappola ottica spingendo la sua incertezza a $2e-17$. IT-Yb1 ha operato per oltre 145 ore in confronti internazionali, in particolare per una collaborazione con il KRISS (Sud Corea) per confronti intercontinentali con tecniche VLBI. Il campione ottico ad atomi di Sr è stato completato ed è stata avviata una misura preliminare di accuratezza volta alla verifica complessiva del suo funzionamento. Sebbene l'accuratezza del campione sia del tutto preliminare è stato possibile verificare il corretto funzionamento dell'orologio al livello di $1E-14$.

Risultati ottenuti. Sono stati pubblicati 2 articoli su riviste internazionali sui confronti di orologi con tecniche VLBI. È stato sottomesso un articolo sulla valutazione di accuratezza del campione allo Sr (pubblicato nel 2022).

Campioni a microonda

Obiettivi. In questo ambito proseguiranno gli studi volti alla realizzazione di sistemi compatti ad alta stabilità basati sul principio del pompaggio ottico impulsato (POP), studiando in dettaglio i diversi meccanismi di trasferimento di rumore

Attività svolta. Per quanto riguarda il prototipo del POP (oltre all'attività descritta nella sezione KT), sono proseguiti gli studi sui rumori dell'orologio, con particolare attenzione al rumore di ampiezza e frequenza trasferito dalla sorgente laser.

Risultati ottenuti. Nel corso del 2021 sono stati pubblicati 3 lavori su rivista sulle tematiche dei campioni impulsati al Rb in cella

Nuovi oscillatori

Obiettivi. Realizzazione di sorgenti ottiche ultra low noise.

Attività svolta. E' stato realizzato un banco di misura centrato sul pettine ottico per il trasferimento di purezza spettrale dal laser di clock dell'orologio a Yb ad altre sorgenti, in particolare a 1542 nm (la radiazione utilizzata nella disseminazione di frequenza via fibra ottica), a 698 nm e a 1396 nm (la radiazione corrispondente alla transizione di clock nell'orologio Sr e la sua sub-armonica); è stato caratterizzato il pettine ottico INRiM con accuratezza al livello di parti in 10^{-18} , risultato funzionale a diversi esperimenti del settore quali: valutazione dell'orologio Yb nell'ambito di confronti internazionali (partecipazione alla realizzazione del Tempo Atomico Internazionale TAI, confronto di orologi ottici via VLBI con KRISS, confronto via fibra ottica con SYRTE); valutazione e caratterizzazione del laser di clock dell'orologio Sr; trasferimento di purezza spettrale fra laser infrarossi per attività legate a QKD con tecniche tempo/frequenza).

Risultati ottenuti. L'attività sul pettine ottico ha contribuito alle 2 pubblicazioni su riviste internazionali riguardanti i confronti di orologi con tecniche VLBI (vedere paragrafo "Campioni ottici") e all'articolo riguardante l'attività QKD (vedere paragrafo "Tecniche T/F in fibra ottica per applicazioni di tecnologie quantistiche"). Un ulteriore articolo sulla caratterizzazione del comb è in preparazione.

Applicazioni scientifiche basate sul sistema Galileo

Obiettivi. Identificare aree di impiego dei campioni di frequenza per studi di fisica fondamentale.

Attività svolta. Questa tematica non è stata portata avanti nel corso del 2021.

Risultati ottenuti. TESTO

Sistemi quantistici molecolari e ibridi

Obiettivi. Studio di nuove tecniche spettroscopiche per lo sviluppo di campioni di frequenza innovativi.

Attività svolta.

Abbiamo finito il disegno e la costruzione di una nuova camera per buffer gas cooling, in cui le molecole vengono raffreddate da un gas di elio a 4 K. Questo setup può essere utilizzato per raffreddare sia molecole provenienti da un fascio molecolare sia molecole iniettate direttamente nella cella da un capillare.

L'intrappolamento di ioni è stato studiato partendo da una trappola di Paul. La spettroscopia sugli ioni ha permesso di ottimizzare il laser cooling e osservare la formazione di cristalli di Coulomb di ioni di Bario freddi. È stato completato il setup per il confinamento e il raffreddamento di Litio fermionico. È stato caratterizzato il forno per la formazione di vapori caldi di Litio ed è stata realizzata la prima MOT di atomi di Litio.

Risultati ottenuti.

La camera per il buffer gas cooling è il primo setup in Italia che permette l'accoppiamento di un fascio molecolare a un sistema per il raffreddamento simpatico con elio.

È stato realizzato il primo esperimento italiano di intrappolamento di ioni, con il confinamento di cristalli di Coulomb di ioni di Bario. È stata realizzata la prima nuvola di atomi di Litio in trappola magneto-ottica. L'attività sulle misture atomo-ione ha prodotto due pubblicazioni scientifiche, una su Optics Letters (tema: laser a cavità estesa), una su Physical Review Letters (selezionata per editors' suggestions, tema: tecniche innovative di raffreddamento di atomi).

Tecniche T/F in fibra ottica in applicazioni di tecnologie quantistiche, radioastronomia, geofisica, geodesia spaziale

Obiettivi. Utilizzo del link in fibra per applicazioni scientifiche e tecnologiche.

Attività svolta. È stato concluso un esperimento che ha dimostrato un miglioramento nella distribuzione di chiavi quantistiche con tecniche TF-QKD su lunga distanza grazie all'uso di laser ultrastabili e interferometria coerente in fibra ottica, in campo reale.

È stato utilizzato il link in fibra ottica verso il Radio Osservatorio di Medicina per confronti internazionali di orologi ottici con tecniche VLBI

Risultati ottenuti.

Attività legata a TF-QKD: è stato preparato e sottomesso un articolo (pubblicato a gennaio 2022 su rivista internazionale ad alto IF).

Attività legata ad applicazioni geofisiche: è stato creato un catalogo di eventi sismici rivelati con la fibra ottica, validato da INGV per confronto con dati da sismografi tradizionali. L'attività è tuttora in corso, e ha finora portato a una conferenza stampa nazionale congiunta Open Fiber- INRiM- INGV di presentazione dei primi risultati sul link ottico verso Medicina ha contribuito alle 2 pubblicazioni su riviste internazionali riguardanti i confronti di orologi con tecniche VLBI (vedere paragrafo "Campioni ottici")

ATTIVITÀ RUOLO NMI

Scala di tempo

Obiettivi. Realizzazione di scala di tempo media in tempo reale.

Attività svolta. Nell'ambito più ampio del rinnovamento e irrobustimento della catena di generazione della scala di tempo italiana, è stato codificato un codice Matlab che permette di generare una scala in tempo reale utilizzando le misure di tutti gli orologi atomici a disposizione nel laboratorio di Tempo e Frequenza, sfruttando al meglio le caratteristiche di ciascuna tecnologia.

Risultati ottenuti. Nel periodo in oggetto il codice è stato sviluppato, validato e testato in real-time per la generazione di una scala di tempo di test le cui prestazioni sono state confrontate con la scala di tempo ufficiale UTC(IT). I risultati ottenuti sono in linea con le performance attese e sono stati oggetto di comunicazione a congresso internazionale.

Confronti tra campioni di frequenza

Obiettivi. Misure assolute di frequenza per contribuire alla ridefinizione del secondo

Attività svolta. Il link ottico di frequenza verso la Francia che collega INRiM al SYRTE è stato usato per la prima volta nel confronto di orologi ad altissima accuratezza. Gli orologi dell'INRiM IT-CsF2 e IT-Yb1 sono stati confrontati con le fontane al cesio dell'istituto francese. Le misure dell'orologio ottico IT-Yb1 sono state incluse nell'aggiornamento del calcolo dei valori raccomandati di frequenza del CCTF (aggiornamento concluso a marzo 2021 ma non ancora pubblicato). È in corso una collaborazione con INAF-IRA (Bologna) e KRISS (Corea del Sud) per il confronto intercontinentale di orologi con tecniche VLBI che nasce dalla precedente collaborazione con il NICT (Giappone). Le prime misure sono state effettuate a dicembre 2021.

Risultati ottenuti. articoli su rivista internazionale, funzionamento e agganciamento alla rete in fibra ottica

europea tramite collegamento con la Francia (articolo in preparazione su questo tema).

Trasferimento di tempo accurato

Obiettivi. Messa a punto di tecniche innovative per il trasferimento di tempo

Attività svolta. È stata completata la dorsale per la distribuzione di segnali di tempo accurati in fibra ottica, integrando questa infrastruttura con la dorsale già realizzata per la distribuzione di segnali di frequenza ultrastabili. La distribuzione di segnali di tempo utilizza la tecnica White Rabbit, e collega attualmente le seguenti aziende: Leonardo (Nerviano), TASI (Roma) e Telespazio (Fucino). È stata condotta una sperimentazione preliminare che ha dimostrato questa tecnica essere non peggiore delle migliori tecniche di sincronizzazione basate sulla tecnica GNSS-PPP.

Sono stati inoltre sviluppati nuovi strumenti per il confronto di orologi e scale di tempo remote mediante tecnica Due-Vie, e nuovi metodi per il miglioramento delle attuali tecniche di taratura previste per tali strumenti

Risultati ottenuti. Comunicazioni a congresso.

ATTIVITÀ KNOWLEDGE TRANSFER

Obiettivi. Rafforzamento del rapporto con l'industria italiana attraverso attività di knowledge transfer, e servizi metrologici

Attività svolta. L'attività di Technology Transfer in favore di Leonardo si manifesta attraverso due contratti, entrambi finanziati dall'ESA: Element 2 Make - Rb POP EQM Industrialization e Future on board atomic clocks-Critical items De-risking. Il primo contratto prevede la realizzazione di un Engineering Model (EM) qualificato spazio di orologio atomico al Rubidio basato sul pompaggio ottico impulsato (pulsed optical pumping, POP). In particolare, il progetto prevede la realizzazione della parte ottica ed elettronica da integrare con la parte fisica già realizzata. Il progetto di De-risking ha lo scopo di mitigare alcuni effetti legati alla produzione e caratterizzazione delle cellette di Rubidio e di proporre alcune tecniche per ottimizzare le prestazioni di stabilità

L'attività di Technology Transfer in ambito Galileo si esprime attraverso i contratti con le aziende Spaceopal, Thales Alenia Space (TAS) e gmv su fondi dell'ESA e dell'Agenzia dell'Unione Europea per il Programma Spaziale (EUSPA). Tali contratti prevedono lo sviluppo e la verifica dei sistemi di timing di Galileo. In particolare il contratto Time Service Provider (TSP), coordinato da INRiM per gli aspetti scientifici, è stato rinnovato a dicembre 2021 per 5 anni; finalità della fase attuale del progetto è l'implementazione dell'evoluzioni v2.00 e v2.01 del TSP, che è l'infrastruttura di tempo finale del sistema Galileo, dedicata alla sincronizzazione della scala di tempo di Galileo con il riferimento internazionale UTC. Continua altresì l'attività di definizione algoritmi per seconda generazione per Galileo nell'ambito del contratto TGU con TAS-I che prevede la realizzazione di un prototipo HW per la generazione di una scala di tempo robusta basata sull'uso di un insieme di orologi atomici e su algoritmi di Clock Ensemble.

Risultati ottenuti. Nell'ambito del progetto Element 2 Make - Rb POP EQM Industrialization, Leonardo ha realizzato una breadboard preliminare della parte ottica. La breadboard è stata caratterizzata all'INRiM in termini di rumore di frequenza del laser e sensibilità del laser stesso ad alcuni parametri ambientali (temperatura della cella di riferimento, campo magnetico, ecc.). Per il progetto di de-risking, sono state implementate tecniche avanzate di stabilizzazione dell'ampiezza della microonda di interrogazione. Nell'ambito del progetto TSP, l'infrastruttura è operativa presso i Centri di Controllo di Galileo da dicembre 2017 a oggi con ottime prestazioni. Nel 2021 è iniziato lo sviluppo e test dell'evoluzione TSP v2.00, passando con successo le milestone di progetto previste. Dati i risultati ottenuti, il progetto è considerato di grande rilevanza scientifica e reputazionale internazionale.

Nell'ambito del progetto TGU, con il supporto scientifico di INRiM e la collaborazione con i partner industriali, TAS-I ha realizzato una breadboard per la realizzazione della scala Hardware, sulla quale verranno testati gli algoritmi sviluppati da INRiM in collaborazione con Politecnico di Torino. Attualmente è in corso lo sviluppo del SW basato sui prototipi Matlab degli algoritmi realizzati di INRiM.

E' stato creato in collaborazione con Open Fiber e INGV (progetto MEGLIO) su una fibra ottica commerciale, un osservatorio prototipale di terremoti in centro Italia basato sull'interferometria in fibra ottica. Per tale scopo, sono stati realizzati 2 sorgenti laser ultra-stabili (instabilità $\sim 10^{-15}$) trasportabili, installate in centri telecom presso Ascoli Piceno e Teramo, e un sistema di acquisizione dati autonomo che ha permesso la raccolta e catalogazione di dati legati a fenomeni sismici a partire da giugno 2021 (attualmente in funzione).

Appendice 1: Struttura organizzativa dell'INRiM

Presidente: Diederik Sybolt Wiersma
Delega funzioni Presidente ai sensi dell'art. 6, comma 4 dello Statuto INRiM: Vito Fericola
Consiglio di Amministrazione: Diederik Sybolt Wiersma; Vito Fericola, Ettore Vittone
Consiglio Scientifico: Diederik Sybolt Wiersma (Presidente), Claudia Cecchi, Miriam Vitiello, Enrico Dati, Candido Fabrizio Pirri, Martin J.T. Milton, Marco Genovese, Alessandro Germak
Collegio dei revisori dei conti: Roberto Forneris (Presidente); Raffaele Di Giglio (componente effettivo); Diego De Magistris (componente effettivo), Stefano De Santis (componente supplente)
Magistrato della Corte dei Conti, delegato al controllo sulla gestione: Alessandra Olessina (delegato titolare) Marcella Tomasi (delegato sostituto)
Organismo Indipendente di Valutazione: Vincenzo Di Felice (dal 14/4/2021)
Comitato di indirizzo per la qualità: Diederik Sybolt Wiersma, Moreno Tivan, Pietro Asinari, Mauro Di Ciommo
Direttore Scientifico: Pietro Asinari Divisioni Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto) Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà) Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico)
Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita (Paola Tiberto) Settori Scientifici Omogenei (SSO): ML1: Scienza e tecnologia alla nanoscala (Nataschia De Leo) ML2: Campi e sistemi elettromagnetici (Gabriella Crotti) ML3: Acustica e ultrasuoni (Giovanni Durando) ML4: Scienze e tecnologie biomediche (Alessandra Manzin) ML5: Magnetismo, materiali e spintronica (Gianfranco Durin) Divisione Metrologia applicata e ingegneria (Michela Segà) Settori Scientifici Omogenei (SSO): AE1: Metrologia della massa e delle grandezze apparentate (Alessandro Germak) AE2: Metrologia della lunghezza (Marco Pisani) AE3: Misure elettriche ed elettroniche (Pier Paolo Capra) AE4: Termodinamica fisica (Roberto Maria Gavioso) AE5: Termodinamica applicata (Andrea Merlone) Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie (Davide Calonico) Settori Scientifici Omogenei (SSO): QN1: Chimica fisica e nanotecnologie (Andrea Mario Rossi) QN2: Elettronica quantistica (Luca Callegaro) QN3: Fotometria e radiometria (Giorgio Brida) QN4: Ottica quantistica (Marco Genovese) QN5: Tempo e frequenza (Filippo Levi)
Consiglio di Direzione: Pietro Asinari, Paola Tiberto, Michela Segà, Davide Calonico, Vittorio Basso (fino al 14/2/2021), Marco Coisson (dal 15/2/2021) Ivo Pietro Degiovanni, Claudio Origlia, Marco Pisani

Direzione generale (Moreno Tivan)

Direzione Affari Giuridici (Anna Galletti)	Direzione Tecnica (<i>ad interim</i> Moreno Tivan)	
UO Gare e Contratti (Anna Galletti) fino al 15/5/2021 UO Reclutamento (Paola Casale) fino al 1/12/2021 UO Reclutamento (Chiara Spada) dal 1/12/2021 UO Approvvigionamenti (Daniela Cutugno) dal 15/5/2021 UO Acquisti Tecnici e Lavori (Patrizia Mazzocco) dal 15/5/2021 UO Gare e Contratti (Suele Zoppetti) dal 15/5/2021	UO Servizi Tecnici (Claudio Rolfo) UO Logistica e Manutenzioni (Giovanni Di Palermo) UO Sistemi Informatici e Reti (Sandra Denasi)	UO Segreteria Generale (Emanuela Del Ross) UO Risorse Economiche (Ilaria Balbo) UO Trattamento Economico del personale (Cristina Chiaberto) UO Sviluppo Risorse Umane (Barbara Fracassi) UO Comunicazione (<i>ad interim</i> Barbara Fracassi) Servizio Gestione Qualità (Mauro Di Ciommo) Servizio di Prevenzione e Protezione (Renato Actis Foglizzo)

Appendice 2: I progetti

Tabella 23 – Progetti EMPIR (4^a call) avviati nel 2018

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Fundamental	17FUN01 (BeCOMe)	Light-matter interplay for optical metrology beyond the classical spatial resolution limits	200	1.722
	17FUN03 (USOQS)	Ultra-stable optical oscillators from quantum coherent and entangled systems	360	1.795
	17FUN06 (SIQUST)	Single-photon sources as new quantum standards	130	1.799
	17FUN07 (CC4C)	Coulomb Crystals for Clocks	200	1.740
	17FUN08 (TOPS)	Metrology for topological spin structures	150	1.590
	17FUN10 (ParaWave)	Josephson travelling wave parametric amplifier and its application for metrology	199	1.632
Industry	17IND01 (MIMAS)	Procedures allowing medical implant manufacturers to demonstrate compliance with MRI safety regulations	200	1.583
	17IND03 (LAvA)	Large Volume Metrology Applications	175	1.800
	17IND04 (EMPRESS2)	Enhancing process efficiency through improved temperature measurement 2	77	1.800
	17IND06 (FutureGridII)	Metrology for the next-generation digital substation instrumentation	102	1.589
	17IND12 (Met4FoF)	Metrology for the Factory of the Future	163	1.800
	17IND14 (WRITE)	Precision Time for Industry	363	1.616
Normative	17NRM03 (EUCoM)	Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry	120	643
	17NRM05 (EMUE)	Advancing measurement uncertainty - comprehensive examples for key international standards	50	800
Research Potential	17RPT03 (DIG-AC)	A digital traceability chain for AC voltage and current	53	499
	17RPT04 (VersICaL)	A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges	65	445

Tabella 24 – Progetti EMPIR (5ª call) avviati nel 2019

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Health	18HLT06 (RaChy)	Radiotherapy coupled with hyperthermia - adapting the biological equivalent dose concept	400	2.058
	18HLT05 (QUIERO)	Quantitative MR-based imaging of physical biomarkers	550	2.073
Networks	18NET02 (TraceLabMed)	Support for a European Metrology Network on traceability in laboratory medicine	40	490
	18NET03 (SEG-Net)	Support for a European Metrology Network on smart electricity grids	40	491
	18NET05 (MathMet)	Support for a European Metrology Network for mathematics and statistics	20	465
Normative	18NRM03 (INCIPIT)	Calibration and accuracy of non-catching instruments to measure liquid/solid atmospheric precipitation	60	434
Research Potential	18RPT01 (ProbeTrace)	Traceability for contact probe and stylus instrument measurements	15	429
SI Broader Scope	18SIB01 (GeoMetre)	Large-scale dimensional measurements for geodesy	201	1.960
	18SIB02 (Real-K)	Realising the redefined kelvin	230	2.306
	18SIB04 (QuantumPascal)	Towards quantum-based realisations of the pascal	270	1.571
	18SIB05 (ROCIT)	Robust Optical Clocks for International Timescales	250	2.064
	18SIB06 (TiFOON)	Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks	300	10.982
	18SIB07 (GISQ)	Graphene impedance quantum standard	250	1.912
	18SIB08 (ComTraForce)	Comprehensive traceability for force metrology services	210	2.243
	18SIB10 (chipSCALE)	Self-calibrating photodiodes for the radiometric linkage to fundamental constants	150	1.694

Tabella 25 – Progetti EMPIR (6ª call) avviati nel 2020

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Energy	19ENG05 (NanoWires)	High throughput metrology for nanowire energy harvesting devices	140	2.176
	19ENG06 (HEFMAG)	Metrology of magnetic losses in electrical steel sheets for high-efficiency energy conversion	350	1.786
	19ENG07 (Met4Wind)	Metrology for enhanced reliability and efficiency of wind energy systems	120	1.966

Environment	19ENV05 (STELLAR)	Stable isotope metrology to enable climate action and regulation	100	2.300
	19ENV08 (AEROMET II)	Advanced aerosol metrology for atmospheric science and air quality	100	2.290
Networks	19NET01 (AdvManuNet)	Support for a European Metrology Network on advanced manufacturing	51	441
	19NET02 (EMN-Quantum)	Support for a European Metrology Network on quantum technologies	202	494
Normative	19NRM04 (ISO-G-SCoPE)	Standardisation of structural and chemical properties of graphene	90	913
	19NRM05 (IT4Q)	Measurement methods and test procedures for assessing accuracy of instrument transformers for power quality measurements	189	996
	19NRM06 (MeTISQ)	Metrology for testing the implementation security of quantum key distribution hardware	185	993
	19NRM07 (HV-COM ²)	Support for standardisation of high voltage testing with composite and combined wave shapes	71	988
Research Potential	19RPT01 (QuantumPower)	Quantum traceability for AC power standards	51	500
	19RPT02 (RealMass)	Improvement of the realisation of the mass scale	50	384
Support for Impact	19SIP03 (CRS)	Climate Reference Station	50	81
	19SIP06 (COAT)	Increasing the comparability of extreme air temperature measurements for meteorology and climate studies	25	133

Tabella 26 – Progetti EMPIR (7^a call) avviati nel 2021

Call	Acronimo	Titolo	Finanziamento totale UE (k€)	Valore totale progetto(k€)
Fundamental	20FUN01 (TSCAC)	Two-species composite atomic clocks	150	1.798
	20FUN02 (POLight)	Pushing boundaries of nano-dimensional metrology by light	155	1.800
	20FUN03 (COMET)	Two dimensional lattices of covalent- and metal-organic frameworks for the Quantum Hall resistance standard	180	1.632
	20FUN05 (SEQUME)	Single- and entangled photon sources for quantum metrology	Unfunded	
	20FUN06 (MEMQuD)	Memristive devices as quantum standard for nanometrology	425	1.790
	20FUN07 (SuperQuant)	Microwave metrology for superconducting quantum circuits	205	1.778

	20FUN08 (NEXTLASERS)	Next generation ultrastable lasers: reducing thermal noise limit and overcoming technical limitations with new materials and technologies	160	1.798
Industry	20IND01 (MetroCycleEU)	Metrology for the recycling of Technology Critical Elements to support Europe's circular economy agenda	144	1.795
	20IND05 (QADeT)	Quantum sensors for metrology based on single-atom-like device technology	410	1.797
	20IND06 (PROMETH2O)	Metrology for trace water in ultra-pure process gases	345	1.799
	20IND07 (TracOptic)	Traceable industrial 3D roughness and dimensional measurement using optical 3D microscopy and optical distance sensors	140	1.800
	20IND10 (Decarb)	Metrology for decarbonising the gas grid	185	1.799
	20IND13 (SAFEST)	Sustainable advanced flow meter calibration for the transport sector	230	1.748
Normative	20NRM03 (DC grids)	Standardisation of measurements for DC electricity grids	100	1.000
	20NRM05 (iMET-MRI)	Improved metrology for quantitative MRI	100	1.000
Networks	20NET01 (Clean Energy)	Support for a European Metrology Network for Clean Energy	62	496
	20NET02 (Food-MetNet)	Support for a European Metrology Network on Food Safety	201	461

Tabella 27 - Progetti di ricerca UE ed Internazionali (non Euramet) attivi nel 2021

Finanziatore	Nome progetto	Inizio	Termine	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
ENGINSOFT S.P.A.	LIFESAVER	04/10/2021	31/10/2025	402	6.136
ESA - European Space Agency	ATOM	17/05/2021	30/11/2021	250	250
European Commission	MINKE	19/03/2021	31/12/2026	186	4.994
New York University in Abu Dhabi Corporation	TES	15/02/2021	30/08/2021	8	8
EC (H2020)	CLONETS-DS	October 1, 2020	September 30, 2022	172	2.963
CNES CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE	GRC MS3	September 1, 2020	August 31, 2021	25	999
EC (ERC)	SLAQ	May 1, 2020	October 31, 2021	150	150

H2020)					
EC (H2020)	SUPERGALAX	January 1, 2020	December 31, 2022	370	2.456
EC (H2020)	METROFOOD PP (METROFOOD- RI Infrastructure for promoting metrology in food and nutrition Preparatory Phase Project)	December 1, 2019	June 30, 2022	37	4.000
EC (H2020)	Quantum readout techniques and technologies (QUARTET)	November 1, 2019	October 31, 2022	325	2.652
H2020 MSCA ITN (GA 860060)	Magnetism and the effects of Electric Field (MagnEFi)	October 1, 2019	September 30, 2023	261	4.041
H2020 MSCA ITN (GA 861145)	Magnetolectrics Beyond 2020: A Training Programme on Energy-Efficient Magnetolectric Nanomaterials for Advanced Information and Healthcare Technologies (BeMAGIC)	September 1, 2019	August 31, 2023	261	3.954
ESA - Università di Pisa	Laser Interferometry Gauge and Accelerometer (LIG-A)	May 1, 2019	April 30, 2021	80	80
EC (H2020)	Photonic and nanometric High-sensitivity bio-Sensing (PATHOS)	January 1, 2019	December 31, 2023	506	2.567
H2020	Modular and Integrated Digital Probe for SAT Aircraft Air Data System (MIDAS)	October 1, 2018	September 30, 2021	95	1.154
H2020 (ERC- EC)	Direct cell reprogramming therapy in myocardial regeneration through an engineered multifunctional platform integrating biochemical instructive cues (BIORECAR)	July 1, 2018	June 30, 2023	Non finanziato (INRiM è partner terzo)	

NATO	Secure Quantum Communication Undersea Link (SEQUEL)	July 12, 2018	July 11, 2021	99	342
GSA/EC	Egnos-SPMS	Nov 2015	Nov 2022	121	173

Tabella 28 - Progetti di ricerca Nazionali attivi nel 2021

Finanziatore	Nome progetto	Inizio	Termine	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare	DartWars	03/08/2021	02/08/2024	65	65
MINISTERO DELL'ISTRUZIONE DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA	PON QUANCOM	01/03/2021	31/08/2023	159	330
C.R.E.A. CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA (REGIONE PIEMONTE)	QualShell	05/11/2020	05/11/2023	76	76
Università degli Studi di Pavia	LENA	June 1, 2020	June 30, 2021	31	31
MISE - Ministero dello Sviluppo economico	MISE CONTATORI	January 1, 2020	October 31, 2021	570	570
MUR (Progetto Premiale)	Nanotechnology for the molecular and physiological fingerprinting of brain disease (Nano4Brain)	October 15, 2019	October 14, 2021	289	2.150
MUR (PRIN 2017)	Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control (SustMetMat)	September 10, 2019	September 16, 2022	76	762
MUR (Progetto Premiale)	New sensors based solutions for sustainable de-production (SENSEI)	January 1, 2019	December 31, 2022	457	2.638

Tabella 29 - Progetti di ricerca Regionali e Fondazioni attivi nel 2021

Finanziatore	Nome progetto	Inizio	Termine	Finanziamento totale (k€)	Valore totale (k€)
FONDAZIONE CRT	FRATERNISE	20/07/2021	08/01/2024	40,00	99.819,60
FONDAZIONE CRT	Visco3DCell	21/01/2021	04/12/2023	33,00	196.689,88
Fondazione CRT	ViRaDEP	October 1, 2020	January 8, 2023	22	22

Tabella 30 - Progetti di ricerca Industriali attivi nel 2021

Finanziatore	Nome progetto	Inizio	Termine	Valore totale (k€)
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	Eicas 3 Atherel	25/10/2021	30/09/2022	25,5
GRUPPO TORINESE TRASPORTI SPA	GTT	05/10/2021	05/10/2024	18
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	Reaction Wheel	04/08/2021	04/02/2022	30
HAL SERVICE SRL	Vir Halservice	04/08/2021	04/02/2022	70
Space Tech GmbH	CCN3-STI	01/08/2021	31/12/2021	99
TETRA PAK	TETRA-PAK	23/07/2021	31/08/2022	30
ORICAS Import and Export (Beijing) Corporation - on behalf of The End-user: Technical Institute of Physics and Chemistry, CAS	510HK	14/07/2021	30/06/2022	21
ORICAS Import and Export (Beijing) Corporation - on behalf of The End-user: Technical Institute of Physics and Chemistry, CAS	Test Service	14/07/2021	31/12/2023	38
THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A.	UTC	07/07/2021	31/01/2022	100
KAYSER ITALIA SRL	PROSPECT	14/06/2021	31/01/2023	200
ARO S.R.L.	ARO	21/05/2021	28/02/2022	4
IRVING 80 S.R.L.	IRVING80	05/05/2021	31/12/2023	8
THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A.	CLOCKENSEMBLE	14/04/2021	30/06/2022	145
Airbus Defence and Space SAS	EuroQCI	08/04/2021	30/09/2022	435
LEONARDO S.P.A.	RbPOP	02/04/2021	30/11/2023	500
THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A.	GIANO	01/04/2021	31/07/2021	20
SELTA spa	SELTA	19/03/2021	15/04/2021	6
SNAM RETE GAS S.P.A.	SNAM-Malengo	01/03/2021	31/12/2023	35
SNAM RETE GAS S.P.A.	SNAM-Albo	13/02/2021	31/12/2023	47
LEONARDO SPA	"Tecnologie, architetture e standard per Fiber Optic Quantum	July 1, 2020	June 30, 2021	50

	Communications” (FIBEROPTIC)			
OpenFiber spa	Monitoring of Earthquake signals Gathered with Laser Interferometry on Optic fibers (MEGLIO)	January 1, 2020	December 31, 2021	280
ORIGOSAT	GALIST (GNSS Smart Traceability and Anti-spoofing)	1/12/2020	31/07/2022	180
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	ASTRA	December 14, 2020	November 6, 2021	105
EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.	ORION	December 1, 2020	May 31, 2021	30
RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE S.P.A.	Modelli di architettura e di gestione del sistema e delle reti elettriche e della regolazione che favoriscano l'integrazione di generazione rinnovabile e non programmabile, autoproduzione, accumuli, comunità dell'energia e aggregatori	October 15, 2020	December 14, 2021	31
IAM S.R.L.	Attività validazione e di verifica su un nuovo progetto di condotti sbarre e loro accessori (IAM2)	March 25, 2019	September 24, 2021	216
LTF S.p.A.	Concessione di una licenza di sfruttamento del know-how nel settore delle misure di durezza per le scale rockwell, brinell, vickers e marten (LTF Cessione Know-how)	November 7, 2017	November 8, 2027	Cifra che dipende da royalties calcolate sulle vendite future di LTF S.p.A.
GNSS tramite Spaceopal	Time Service Provider (TSP GSOp)	January 1, 2017	June 31, 2021	1.864

Appendice 3: Convenzioni con altri Istituti e Università

Contraenti	Oggetto della convenzione	Durata/scadenza
Zhejiang Institute of Metrology of the People's Republic of China (ZJIM) - Hangzhou	Accordo di collaborazione scientifica e tecnologica nell'ambito della termometria e della chimica	10 anni dal 12/2012
Agenzia Spaziale Italiana (ASI) - Roma	Convenzione quadro di collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e nella formazione professionale su tematiche di comune interesse	5 anni dal 12/01/2016
Università degli Studi di Trento	Convenzione quadro di collaborazione nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche e industriali e della formazione su tematiche di comune interesse	5 anni dal 19/02/2016
Università degli Studi di Pavia	Convenzione di collaborazione scientifica nei settori di comune interesse nel campo della Chimica	5 anni dal 20/06/2016
ENEA - Roma	Accordo di collaborazione per lo svolgimento di attività di ricerca e sviluppo nel settore delle infrastrutture di ricerca per Health & Food da effettuarsi collegialmente attraverso una Joint Research Unit (JRU) comune nazionale denominata METROFOOD-IT	5 anni dal 21/06/2016
Institut za mjeriteljstvo Bosne i Hercegovine (IMBIH)	Memorandum of Understanding per regolare rapporti di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico e, specificamente, al fine di formare i metrologi bosniaci	5 anni dal 28/06/2016
Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) - Parigi	Accordo di collaborazione nel campo della metrologia dei fluidi al fine di costituire una struttura scientifica e un gruppo di ricerca comuni all'LNE e all'INRiM denominati "Laboratorio di Ricerca Congiunto di Metrologia dei Fluidi Evangelista Torricelli"	5 anni dal 29/09/2016
Accademia Europea di Bolzano (Eurac Research)	Convenzione di collaborazione nell'ambito dello studio multidisciplinare di Beni Culturali, di origine sia antropica che naturale, con l'utilizzo di metodi non invasivi e di ultima generazione	5 anni dal 19/05/2017
Politecnico di Torino	Convenzione per l'attivazione e il funzionamento del Corso di Dottorato di Ricerca in Metrologia per un triennio a partire dall'anno accademico 2017/2018 (33°, 34° e 35° ciclo)	5,5 anni dal 03/07/2017
Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro" (UPO) - Vercelli	Convenzione di collaborazione scientifica nei settori di attività delle nanoscienze, della chimica dei polimeri e della metrologia	5 anni dal 18/10/2018
Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) - Bergamo	Convenzione tra l'INRiM e l'ACAE di collaborazione per l'esecuzione di prove su apparecchiature elettriche di bassa tensione industriali, finalizzate alla certificazione, per conto dell'ACAE, secondo lo schema CB	5 anni dal 16/10/2018

Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche (ACAE) - Bergamo	Accordo tra l'INRiM e l'ACAE per regolamentare le attività che il Laboratorio Alte Tensioni & Forti Correnti (LATFC) dell'INRiM svolgerà su incarico dell'ACAE	5 anni dal 16/10/2018
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Addendum alla convenzione quadro di collaborazione scientifica del 2 ottobre 2014 tra l'INRiM e il LENS in cui sono disciplinati gli obblighi in materia di sicurezza sul lavoro e la tutela della proprietà intellettuale	4 anni dal 16/10/2018
Consorzio Top-IX - Torino	Convenzione tra l'INRiM e il Consorzio TOP-IX di Torino per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga	9 anni dal 24/09/2018
Consortium GARR - Roma	Protocollo d'intesa di collaborazione scientifica con il Consortium GARR di Roma al fine di definire e perfezionare rapporti di collaborazione scientifica negli ambiti dello sviluppo e dell'innovazione tecnologica, con particolare riguardo alla distribuzione di segnali di riferimento di tempo e frequenza su scala geografica attraverso infrastrutture di rete in fibra ottica	5 anni dal 13/06/2018
Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI) - Roma	Accordo quadro al fine di definire e perfezionare rapporti di collaborazione scientifica nel settore delle telecomunicazioni	4 anni dal 24/04/2018
IRA/INAF Radiotelescopi - Medicina (BO) e National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo	Addendum all'accordo di collaborazione tra l'INRiM, l'IRA/INAF e il NICT	Contratto del 29/03/2019; scade il 31/03/2021
Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica	Convenzione finalizzata all'attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Fisica" per il 35° ciclo	Contratto del 05/08/2019; scade il 31/10/2022
National Institute of Information and Communications Technology (NICT) - Tokyo	Collaborative Research Agreement finalizzato all'effettuazione di un esperimento su trasferimenti di tempo via satellite geostazionario tramite l'utilizzo, presso l'INRiM, del Software Ranging System (SRS) modem sviluppato dal NICT	Contratto del 16/07/2019; scade il 31/03/2021
Università degli Studi di Brescia (UniBS)	Convenzione per la realizzazione di infrastrutture di telecomunicazione a banda ultralarga	Contratto del 19/08/2019; scade il 18/08/2024
Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Fisica	Convenzione finalizzata all'attivazione e al funzionamento di un Corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze Chimiche e dei Materiali" per il 35° ciclo	Contratto del 15/10/2019; scade il 31/10/2022
Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) - Direzione generale per il mercato, la concorrenza, la tutela del consumatore e la normativa tecnica - Roma	Convenzione di collaborazione scientifica per lo sviluppo di metodi di validazione dei contatori di energia elettrica attiva in condizioni effettive, volti alla vigilanza del mercato e alla tutela dei consumatori	Contratto del 17/12/2019; scade il 30/10/2021
Centro Laboratorio Energia Nucleare Applicata dell'Università di Pavia (LENA) - Pavia	Accordo di collaborazione scientifica per lo svolgimento di attività di ricerca di comune interesse nel campo della Metrologia in Chimica	Contratto del 17/12/2019; scade il 31/10/2022

Fondazione IRCCS Istituto Neurologico "Carlo Besta" (FINCB) - Milano	Accordo di collaborazione scientifica per lo sviluppo di linee di ricerca pre-clinica, clinica e tecnica nell'ambito della terapia con ultrasuoni	Contratto del 19/12/2019; scade il 18/12/2022
Università degli Studi di Pavia - Amministrazione – Servizio Sicurezza e Salute - Pavia	Contratto concernente le attività di sorveglianza sanitaria, di sorveglianza fisica delle radiazioni e le attività derivanti dagli obblighi per il Datore di Lavoro del D.Lgs n. 81/2008 e s.m.i. relativamente al personale dell'INRiM distaccato presso l'Università degli Studi di Pavia	Contratto del 16/12/2019; scade il 17/12/2022
Università degli Studi di Torino	Convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata a regolamentare i rapporti di collaborazione tra i due Enti nei campi della ricerca scientifica e della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di attività dell'INRiM aventi corrispondenza nei Dipartimenti dell'Università	Contratto del 10/12/2019; scade il 09/12/2024
Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche (DSCB) dell'Università degli Studi di Torino	Accordo specifico di collaborazione scientifica avente a oggetto la ricerca scientifica nel settore di attività concernente l'European Metrology Network on Traceability in Laboratory Medicine (TraceLabMed) di EURAMET	Contratto 2/2020; scade il 09/12/2024
National Institute of Metrology (China)	Memorandum of Understanding di collaborazione scientifica e tecnologica in ambito metrologico	Contratto 3/2020; scade il 25/11/2024
Dipartimento di Scienze Chirurgiche dell'Università di Torino (DISC)	Accordo specifico di collaborazione nel settore della caratterizzazione dei materiali, in particolare di materiali protesici e delle caratteristiche inerenti la valutazione dell'Appearance	Contratto 4/2020; scade il 9/12/2024
Società Italiana di Fisica (SIF) - Bologna	Convenzione quadro di collaborazione scientifica finalizzata alla conoscenza, all'aggiornamento e allo stimolo dei processi innovativi nello svolgimento di attività tecnico-scientifiche e di sviluppo congiunte	Contratto 23/2020; scade il 14/06/2023
Politecnico di Torino	Convenzione per l'attivazione e il funzionamento del Corso di Dottorato di Ricerca in Metrologia per un triennio a partire dall'anno accademico 2020/2021	Contratto 28/2020; scade il 31/10/2023
Politecnico di Torino	Convenzione per l'erogazione di contributo in denaro destinato al finanziamento dell'attività di ricerca mediante l'attivazione di una borsa di studio per il dottorato di Ricerca in Fisica (35° ciclo)	Contratto 29/2020; scade il 31/10/2022
CNR, Politecnico di Milano, Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento, Fondazione INPHOTEC di Pisa e Politecnico di Torino	Addendum 02 to It-FAB Memorandum of Understanding on new partner finalizzato alla costituzione della rete italiana di infrastrutture di micro e nano-fabbricazione "IT-FAB"	Contratto 30/2020
Università degli Studi di Firenze	Convenzione quadro di collaborazione scientifica nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche, della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di comune attività dell'INRiM e dell'Università	Contratto 31/2020; scade il 4/08/2025

Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse	Contratto 32/2020; scade il 21/09/2025
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Frascati (RM)	Convenzione quadro finalizzata alla collaborazione nell'attività di ricerca scientifica e della formazione professionale su tematiche di comune interesse	Contratto 33/2020; scade il 12/08/2025
Google Singapore Pte Ltd e NPL	Agreement di collaborazione scientifica	Contratto 39/2020; scade a novembre 2021
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) - Sesto Fiorentino	Attuativa della convenzione quadro di collaborazione scientifica su "studio della propagazione del campo elettromagnetico in strutture fotoniche tridimensionali disordinate"	Scade il 15/09/2022
Politecnico di Milano – Polo Regionale di Como	Rinnovo della convenzione di collaborazione scientifica	Scade il 10/06/2025
Consorzio Top-IX - Torino	Rinnovo della convenzione di collaborazione per la diffusione del segnale di tempo riferito a UTC attraverso la fibra ottica	Scade il 28/05/2023
Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR (Roma)	Cooperazione per l'individuazione e lo sviluppo di un portafoglio di programmi di ricerca, formazione e altre iniziative comuni nell'ambito delle scienze fisiche, degli obiettivi strategici Energia, Ambiente, Agroalimentare e Salute, della ricerca per l'industria e delle tecnologie abilitanti	Contratto 1/2021 Scade il 14/01/2026
Università degli Studi di Torino	Convenzione per tirocini extracurricolari formativi e di orientamento	Contratto 2/2021 Scade il 27/09/2022
Centre for Research and Technology-Hellas (CERTH)/Chemical Process and Energy Resources Institute (CPERI), Grecia	Cooperazione scientifica e tecnologica nel campo delle proprietà delle ferriti sinterizzate	Contratto 4/2021 Scade il 04/03/2026
Università degli Studi di Milano	Collaborazione nei campi della ricerca scientifica, delle applicazioni tecnologiche ed industriali, della formazione di laureandi e dottorandi nelle aree di comune attività dei due enti	Contratto 5/2021 Scade il 23/02/2026
Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE) – Direzione generale per la politica industriale, l'Innovazione e le Piccole e Medie Imprese (Roma)	Collaborazione nel campo spaziale finalizzata al raggiungimento degli obiettivi dell'Asse I <i>Space Economy</i> del Piano operativo imprese e competitività FSC 2014-2020, mediante la realizzazione congiunta di iniziative, attività e programmi, che si realizzeranno tramite specifici accordi attuativi	Contratto 6/2021 Scade il 18/12/2025
Centro Interuniversitario per la promozione dei principi delle 3R nella didattica e nella ricerca 3R (Pisa)	Collaborazione nelle attività di interesse comune nell'ambito delle 3R attraverso: <ul style="list-style-type: none"> - scambi scientifici e la condivisione di buone pratiche; 	Contratto 23/2021 Scade il 13/06/2025

	<ul style="list-style-type: none"> - partecipazione/organizzazione di eventi congiunti (workshop e congressi); - predisposizione di materiale scientifico per la divulgazione (articoli scientifici, relazioni ecc); - partecipazione a progetti di ricerca e didattica. 	
Università degli Studi di Torino (Dipartimento di Scienze della Terra e Centro Interuniversitario di Magnetismo Naturale - CIMAN)	Collaborazione nei campi della ricerca scientifica e della formazione professionale concernente lo studio del magnetismo naturale nel campo della geologia e dei beni culturali e ambientali	Contratto 24/2021 Scade il 15/06/2026
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - INFN (Torino)	Collaborazione nel campo delle lavorazioni meccaniche di precisione	Contratto 25/2021 Scade il 17/03/2025
The National Institute of Standards and Technology of the Department of Commerce of the United States of America (NIST)	Memorandum of understanding, con il Material Measurement Laboratory (a capo del programma Materials Genome Initiative - MGI), finalizzato alla collaborazione scientifica e tecnologica nell'ambito di digitalization, artificial intelligence e materiali	Contratto 26/2021 Scade il 05/05/2026
Area di Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste – Area Science Park	Collaborazione sul tema di comune interesse della valutazione della qualità delle misurazioni nel contesto industriale	Contratto 28/2021 Scade il 07/07/2024
CNR-IFN - Milano, CNR-INO - Firenze, Consortium GARR - Roma, Fondazione Bruno Kessler – Trento, Gran Sasso Science Institute - L'Aquila, INFN – Frascati (RM), Politecnico di Milano, Thales Alenia Space Italia S.p.A. – Roma, Università degli Studi di Padova e Università degli Studi di Roma "La Sapienza"	Protocollo d'intesa di collaborazione nell'ambito delle Quantum Technologies, relativamente ad attività di ricerca, sviluppo tecnologico e innovazione e relativamente ad attività di didattica e formazione	Contratto 54/2021 Scade il 20/09/2024
Associazione CentroScienza Onlus (Torino)	Collaborazione ai fini della progettazione e realizzazione di interventi formativi e divulgativi dedicati agli studenti delle scuole di ogni ordine e grado e ai docenti, come pure rivolti ad altri tipi di pubblico, nelle aree tematiche di comune interesse	Contratto 55/2021 Scade il 18/08/2024
Ente di gestione delle aree protette dei Parchi Reali (EGAP) - Venaria Reale (TO) e Società Meteorologica Italiana (SMI) – Moncalieri (TO)	Convenzione per la collaborazione scientifica e la realizzazione sperimentale di una stazione meteorologica di riferimento per la climatologia a Torino	Contratto 56/2021 Scade il 06/10/2026
I3P Scpa – Incubatore Imprese Innovative del Politecnico di Torino (Incubatore I3P)	Protocollo d'intesa finalizzato a esplicitare il supporto dell'INRiM alle attività dell'ESA Business Incubation Centre	Contratto 57/2021 Scade il 02/11/2026
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) – Frascati (RM)	Accordo di programma con i laboratori nazionali di Frascati dell'INFN, finalizzato allo sviluppo del progetto di ricerca "DART WARS – Detector Array Readout with Travelling Wave AmplifierS"	Contratto 58/2021 Scade il 06/10/2024

National Institute of Information and Communications Technology (NICT) e National Institute for Astrophysics, Institute of Radio Astronomy (INAF/IRA)	Amendment to Collaborative Research Agreement	Contratto 59/2021 Scade il 31/03/2023
Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non Lineari (LENS) – Sesto Fiorentino	Nota attuativa della convenzione quadro di collaborazione scientifica per svolgimento progetto di ricerca FISR LEONARDO	Contratto 60/2021 Scade il 14/06/2023
Associazione CentroScienza Onlus (CentroScienza) - Torino	Nota attuativa dell'accordo di collaborazione del 19 agosto 2021 finalizzato alla realizzazione dell'intervento formativo e divulgativo: le "Settimane a scuola"	Contratto 61/2021 Scade a giugno 2022
Politecnico di Torino e Università degli Studi di Torino	Convenzione avente a oggetto la collaborazione in attività di ricerca e trasferimento tecnologico e per la realizzazione e la gestione di laboratori condivisi, tra cui l'infrastruttura Piquet	Contratto 64/2021 Scade il 23/11/2026
Università degli Studi di Torino	Memorandum of Understanding finalizzato alla partecipazione a costituire la piattaforma progettuale "Butterfly Area"	Scade il 14/11/2022

Appendice 4: Laboratori principali

Divisione Metrologia dei materiali innovativi e scienze della vita

Laboratorio per la realizzazione di dispositivi superconduttori a film sottile
Laboratorio per la caratterizzazione di materiali e dispositivi superconduttivi
Laboratorio di caratterizzazione superconduttiva in cryocooler
Laboratorio di caratterizzazione ottica ed elettrica di nanodispositivi e materiali avanzati nanostrutturati
Laboratorio Semiconduttori e di deposizione di materiali 2D e magnetici a film sottile
Laboratorio di microscopia a doppio fascio elettronico e ionico e per la microanalisi (Nanofacility Piemonte)
Laboratorio di camera pulita ISO5 per processi di litografia ottica e laser
Laboratorio di realizzazione di dispositivi TES
Laboratorio di calcolo Modelli Elettromagnetici
Laboratorio dispositivi elettromagnetici
Laboratorio campi magnetici di riferimento a bassa e media frequenza
Laboratorio campi elettrici di riferimento
Laboratorio campi elettromagnetici di riferimento in cella TEM, GTEM e μ TEM
Camera anecoica per taratura di antenne
Camera schermata per taratura dispositivi EMC
Laboratori di sperimentazione, taratura e misura di forti correnti alternate e alte tensioni, continue, alternate e distorte
Laboratorio caratterizzazione e taratura strumentazione di alta tensione
Laboratorio Ultrasuoni (caratterizzazione di campi ultrasuoni in ambito biomedicale)
Camera anecoica
Camera riverberante
Laboratorio di Acustica (taratura di microfoni, fonometri, filtri, calibratori)
Laboratorio caratterizzazione acustica materiali (attività sospesa)
Laboratorio dosimetria elettromagnetica
Laboratorio di preparazione e caratterizzazione per materiali simulatori tissutali e drug delivery
Laboratorio di metrologia per le bioscienze
Laboratorio di microscopia avanzata
Laboratorio di analisi per attivazione neutronica, presso l'Università di Pavia
Preparazione di materiali magnetici per rapida solidificazione, di film sottili e di multistrati magnetici.
Preparazione di film sottili e di multistrati magnetici.
Caratterizzazione e studio delle proprietà fisiche di materiali magnetici dolci, duri, amorfi e nanostrutturati.
Laboratorio di misure magnetiche per certificazione
Laboratori di magnetometria ultrasensibile per misure proprietà magnetiche materiali.
Laboratori per lo studio delle proprietà di trasporto in nastri e film sottili magnetici.
Laboratorio di diffrattometria a raggi X
Laboratorio di metallurgia per la produzione di leghe metalliche amorfe e nanostrutturate, tramite rapida solidificazione e metallurgia delle polveri
Laboratorio trattamenti termici
Laboratorio di calorimetria a scansione differenziale per l'analisi delle trasformazioni di fase nei materiali
Misure a microonde rumore e nano correnti
Laboratorio di Machine Learning

Divisione Metrologia applicata e ingegneria

Laboratorio masse
Laboratorio densità
Laboratorio portate di liquidi
Laboratorio di simulazione termo fluidodinamica (Mockup)
Laboratorio alte pressioni gas
Laboratorio alte pressioni liquido
Laboratorio medio vuoto
Laboratorio portate e volumi di gas
Laboratori forze
Laboratorio durezza

Laboratorio gravità
Laboratorio vibrazioni
Laboratorio per l'interferometria X e ottica
Laboratorio per la stabilizzazione di laser e campioni ottici di frequenza
Laboratorio per la nano-metrologia e la metrologia delle superfici
Laboratori per la metrologia dei campioni a facce e lineari corti e dei campioni diametrali
Laboratorio per la metrologia dei campioni a facce lunghi
Laboratorio per la metrologia a coordinate
Laboratorio per la metrologia degli angoli e della rotondità
Laboratorio per l'interferometria a lunghe distanze (interferometro 28 m)
Laboratorio prototipazione con stampanti 3D
Struttura ad alto vuoto grande volume a sospensione pneumatica
Tavolo ottico in camera bianca classe ISO 6
Laboratori di elettronica
Laboratorio campione nazionale di tensione e attività di ricerca collegate
Laboratorio campione nazionale di resistenza e attività di ricerca collegate
Laboratorio per la metrologia delle alte resistenze
Laboratorio sviluppo e prototipazione strumenti per la metrologia
Laboratorio per la metrologia dei rapporti di tensione
Laboratorio per la taratura degli strumenti elettrici programmabili e multifunzione
Laboratorio per la taratura dei misuratori di grandezze alternate
Laboratorio alte tensioni e forti correnti (LATFC)
Laboratorio Termometria Primaria a temperature intermedie per realizzazione ITS-90 con SPRT a stelo
Laboratorio Termometria in Criogenia per realizzazione ITS-90 con SPRT a capsula
Laboratorio Termometria Primaria Acustica e a Indice di Rifrazione
Laboratorio Campioni Primari per termometria a radiazione per realizzazione ITS-90 ad alta temperatura
Laboratorio Tecniche per Termometria IR e caratterizzazioni spettrali di termometri a radiazione
Laboratorio Taratura termometri a radiazione e misuratori flusso termico radiativo
Laboratorio Termometria Industriale per contatto.
Laboratorio Termometria Superficiale e a fluorescenza.
Laboratorio Conducibilità Termica dei materiali.
Laboratorio Campioni Primari di Umidità nei gas.
Laboratorio Campioni secondari di umidità e temperatura dell'aria
Laboratorio di misura di umidità nei materiali
Laboratorio di misura di Proprietà Termofisiche di fluidi ad alta pressione
Laboratorio di misura della Densità di fluidi in fase liquida
Laboratorio metrologia Termodinamica Applicata
Tunnel a vento a controllo di temperatura, umidità e pressione – “EDDIE”
Camere portatili per tarature di termometri e barometri on site
Camere portatili per la valutazione dell'Appearance
Laboratorio mobile per taratura sensori termici permafrost
Camere climatiche, bagni termostatici
Laboratorio Miscele gravimetriche e analisi organica
Laboratorio primario di igrometria e temperatura dell'aria

Divisione Metrologia quantistica e nanotecnologie

Laboratorio di analisi di superfici e spettroscopia vibrazionali
Laboratorio di metrologia alimentare
Laboratori presso il LENA (Laboratorio di Energia Nucleare Applicata) presso l'Università di Pavia
Laboratorio Batteri classe II
Laboratori Analisi Chimiche
Laboratori schermati per la metrologia elettrica in bassa frequenza
Laboratorio schermato misure in radiofrequenza
Laboratorio campione quantistico di resistenza
Laboratorio potenza ed energia elettrica
Laboratorio sviluppo AC/DC
Laboratorio schermato sistemi quantistici elettronici
Laboratori per i campioni fotometrici

Radiometria nell'ultravioletto.
Laboratorio di radiometria laser e spettroradiometria
Laboratorio materiali ottici
Laboratori di radiometria criogenica fino a 40 mK
Laboratorio stati entangled in polarizzazione
Laboratorio phase quantum imaging
Laboratorio plenoptic quantum imaging
Laboratorio quantum weak measurements
Laboratorio IR colour center SPS
Laboratorio metrologia quantistica a 1550 nm
Laboratorio criogenico per SPS
Laboratorio 1550 SPs e taratura
Laboratorio ODMR
Laboratorio microscopio quantistico in luce strutturata
Laboratori della scala di tempo
Laboratorio campione primario di frequenza a fontana di Cs.
Laboratorio orologio ottico all'Itterbio
Laboratorio orologio ottico allo Stronzio
Laboratorio pettini ottici di frequenza
Laboratorio campioni compatti di frequenza a microonda
Laboratorio del link ottico di frequenza/IQB
Laboratorio GNSS Galileo
Laboratorio Radionavigazione
Laboratorio di Elettronica
Laboratorio Demetra Disseminazione Servizi di Tempo
Laboratorio molecole fredde presso il LENS
Laboratorio miscele ioni e atomi freddi presso il LENS

Appendice 5: Acronimi

ACAE	<i>Associazione per la Certificazione delle Apparecchiature Elettriche</i>
ACCREDIA	<i>Ente italiano di accreditamento</i>
ARPA	<i>Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente</i>
ANVUR	<i>Agenzia Nazionale per la Valutazione della Ricerca</i>
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CCAUV	<i>Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration</i>
CCEM	<i>Consultative Committee for Electricity and Magnetism</i>
CCL	<i>Consultative Committee for Length</i>
CCM	<i>Consultative Committee for Mass and Related Quantities</i>
CCPR	<i>Consultative Committee for Photometry and Radiometry</i>
CCQM	<i>Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology</i>
CCT	<i>Consultative Committee for Thermometry</i>
CCTF	<i>Consultative Committee for Time and Frequency</i>
CdA	<i>Consiglio di Amministrazione</i>
CdD	<i>Consiglio di Direzione</i>
CEI	<i>Comitato Elettrotecnico Italiano</i>
CEN	<i>Comitato Europeo di Normazione</i>
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i>
CGPM	<i>Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure</i>
CIPM	<i>Comitato Internazionale Pesi e Misure</i>
CIRP	<i>International Academy for Production Engineering</i>
CMC	<i>Calibration and Measurement Capabilities</i>
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CNES	<i>Centre National d'Études Spatiales</i>
CNR	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
CS	<i>Consiglio Scientifico</i>
CUG	<i>Comitato Unico di Garanzia</i>
CUNA	<i>Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo</i>
DAP	<i>Distretto Aerospaziale Piemonte</i>
EA	<i>European co-operation for Accreditation</i>
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay System</i>
EMN	<i>European Metrology Networks</i>
EMP	<i>European Metrology Partnership</i>
EMPIR	<i>European Metrology Programme for Innovation and Research</i>
EMRP	<i>European Metrology Research Programme</i>
ENEA	<i>Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente</i>
ENEA-INMRI	<i>Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA</i>
EPR	<i>Ente Pubblico di Ricerca</i>
ERC	<i>European Research Council</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes</i>
FOE	<i>Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>

GRC	<i>Galileo Reference Center</i>
KCDB	<i>Key Comparison Data Base</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEN	<i>Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris</i>
IMEKO	<i>International Measurement Confederation</i>
IMGC	<i>Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del CNR</i>
INFN	<i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</i>
IR	<i>Infrastruttura</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITS-90	<i>International Temperature Scale 1990</i>
KC	<i>Key Comparison</i>
ILC	<i>Interlaboratory Comparison</i>
LATFC	<i>Laboratorio alte tensioni e forti correnti</i>
LENS	<i>European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy</i>
LNE	<i>Laboratoire National de Métrologie et d'Essais</i>
LOVAG	<i>Low Voltage Agreement Group</i>
MESAP	<i>Meccatronica e sistemi avanzati di produzione</i>
METRICA	<i>METROlogy Institutional CAtalog</i>
MISE	<i>Ministero dello Sviluppo Economico</i>
MRA	<i>Mutual Recognition Arrangement</i>
MUR	<i>Ministero dell'Università e della Ricerca</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NMI	<i>National Metrology Institute</i>
NPL	<i>National Physical Laboratory</i>
OdR	<i>Organismo di Ricerca</i>
OS	<i>Open Science</i>
PAP	<i>Piano Triennale di Azioni Positive</i>
PCTO	<i>Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento</i>
PMI	<i>Piccola Media Impresa</i>
PNR	<i>Programma Nazionale per la Ricerca</i>
POA	<i>Policy Open Access</i>
PolITo	<i>Politecnico di Torino</i>
PRIN	<i>Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale</i>
PTA	<i>Piano Triennale di Attività</i>
PTB	<i>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i>
PTP	<i>Proficiency Testing Provider</i>
QKD	<i>Quantum Key Distribution</i>
RilTeM	<i>Rilancio della Terza Missione</i>
RMO	<i>Organismo Metrologico Regionale</i>
RSPP	<i>Responsabile Servizio Prevenzione e Protezione</i>
SC	<i>Supplementary Comparison</i>
SCDS	<i>Settore interdivisionale Coordinamento e Divulgazione Scientifica</i>
SGQ	<i>Sistema di Gestione per la Qualità</i>
SI	<i>Sistema Internazionale</i>

<i>SRA</i>	<i>Strategic Research Agenda</i>
<i>SSO</i>	<i>Settore Scientifico Omogeneo</i>
<i>TC-Q</i>	<i>Comitato Tecnico per la Qualità</i>
<i>TSP</i>	<i>Galileo Time Service Provider</i>
<i>TTO</i>	<i>Technology Transfer Officer</i>
<i>UE</i>	<i>Unione Europea</i>
<i>UNI</i>	<i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione / Ente Nazionale di Unificazione</i>
<i>UniTO</i>	<i>Università degli Studi di Torino</i>
<i>UO</i>	<i>Unità Organizzativa</i>
<i>UTC</i>	<i>Coordinated Universal Time</i>
<i>UTT</i>	<i>Ufficio di Trasferimento Tecnologico</i>
<i>VQR</i>	<i>Valutazione della Qualità della Ricerca</i>