

Programmazione triennale del Dipartimento di Fisica “G. Occhialini”

INTRODUZIONE

La missione primaria del Dipartimento di Fisica “G. Occhialini” è la ricerca di frontiera, fondamentale e applicata, svolta all'interno di una ampia rete di collaborazioni nazionali ed internazionali. L'attività scientifica è svolta in stretta collaborazione con enti nazionali, quali INFN, CNR, INAF, ASI, IIT, e diversi centri di eccellenza a livello internazionale (i.e. CERN, ESA, PSI, ESS, NASA, LNGS, NIST, DESY, JET, ITER, CNRS, RAL). Negli ultimi anni questi rapporti si sono intensificati seguendo l'evoluzione della ricerca nei vari settori in cui il Dipartimento è più attivo.

I finanziamenti alla ricerca su progetti competitivi, provenienti dalla Commissione Europea, dal MUR, da enti locali e da privati sono il risultato di un'intensa attività di grande impatto, bene inquadrata a livello internazionale e attenta alle esigenze del territorio.

La visibilità di Milano-Bicocca è in costante aumento come dimostrato dalla sua attrattività. Attualmente il Dipartimento ospita ben sette progetti dello European Research Council (cinque Starting ERC, un Consolidator ERC e un Advanced ERC), due COST actions, due vincitori di borse Marie Curie e coordina un progetto FET di Horizon 2020. Inoltre il Dipartimento è stato scelto da tre vincitori del programma Levi Montalcini come sede per il rientro in Italia.

Particolarmente significativa è stata l'espansione dei rapporti di collaborazione scientifica con gli altri dipartimenti di questo Ateneo, anche mediante un incremento degli investimenti di risorse in ambiti di ricerca interdisciplinari all'avanguardia. Tra i temi di ricerca interdipartimentali in corso figurano i seguenti:

- Applicazioni delle tecniche di indagine fisica allo studio dei beni culturali (Centro BIPAC);
- Applicazioni in ambito medico della Fisica delle Particelle (Dipartimento di Medicina e Chirurgia);
- Dispositivi a plasma con applicazioni per l'ambiente e l'energia e la funzionalizzazione delle superfici dei materiali (Dipartimento di Medicina e Chirurgia);
- Dispositivi microstrutturati per imaging in-vivo (Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze);
- Machine learning applicato all'analisi dell'immagini e alle scienze omiche (Dipartimento di Medicina e Chirurgia e Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze);
- Materiali innovativi per rivelatori di radiazione (Dipartimento di Scienza dei Materiali);
- Metodi innovativi per l'analisi delle immagini in campo immunologico (Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze);
- Remote sensing (Dipartimento Scienze Ambientali e della Terra);
- Sensoristica e strumentazione medica (Dipartimento di Medicina e Chirurgia);
- Sviluppo di interfacce neurali capacitive con il cervello (Centro NeuroMiB);
- Tecnologie quantistiche e quantum computing (Dipartimento di Scienza dei Materiali).

La produzione scientifica del Dipartimento, secondo i parametri di valutazione VQR, è di livello ottimo.

I corsi di studio incardinati nel Dipartimento sono il corso di laurea triennale in Fisica, il corso di laurea magistrale in Fisica e il corso di laurea magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio. Il numero di studenti iscritti per anno durante questo triennio mostra una crescita costante (da 240 a 340 per la laurea triennale, da 80 a 90 per la laurea magistrale in Fisica e da 25 a 32 per la laurea magistrale in Astrofisica).

La qualità della didattica incardinata nel Dipartimento mostra un costante miglioramento nel triennio, come risulta dalle opinioni degli studenti. Questo è frutto di un costante lavoro di monitoraggio da parte della commissione didattica e del gruppo di qualità del CCD. In particolare per la laurea triennale il numero di abbandoni si è abbassato fino a circa il 27%, in media con il valore nazionale. Tuttavia, per cercare di avvicinare la durata effettiva del corso di studi con la durata teorica di tre anni, sono state intraprese diverse misure quali lo sdoppiamento o la triplicazione degli insegnamenti più numerosi, la creazione di un maggior numero di turni di laboratorio che permettono di mantenere un numero di studenti per gruppo adeguato ad un'efficace azione didattica, l'affiancamento degli studenti con tutors dedicati a quelle discipline che risultano di apprendimento più complesso con azioni mirate come esercitazioni aggiuntive e revisioni del programma dei corsi.

Il Dipartimento ha complessivamente rafforzato il proprio posizionamento in ambito internazionale. Per quanto riguarda la ricerca di frontiera, continuano le relazioni esistenti, e ormai di lunga data, con enti di riconosciuta eccellenza internazionale, ad esempio il CERN nell'area della fisica delle interazioni fondamentali. Sono inoltre stati stipulati nuovi accordi di collaborazione scientifica con realtà di grandi prospettive per il prossimo futuro, tra cui il consorzio ITER nell'ambito della fisica dei plasmi. È sempre più vivace la ricca rete di collaborazioni internazionali in fisica teorica, testimoniata anche dall'attrazione di un numero considerevole di giovani ricercatori impegnati nelle diverse linee di ricerca in questo ambito. Anche le attività didattiche hanno acquisito una crescente dimensione internazionale attraverso l'incremento dell'offerta di corsi in lingua inglese per la laurea magistrale, la trasformazione in laurea internazionale della laurea magistrale Astrofisica e Fisica dello Spazio e corsi di dottorato in co-tutela con atenei esteri. L'aumentata internazionalizzazione delle attività didattiche ha comportato un positivo incremento di studenti partecipanti ai programmi Erasmus, soprattutto per le attività di ricerca in preparazione della tesi di laurea, così come di cittadini stranieri iscritti al corso di Dottorato in Fisica e Astrofisica del Dipartimento.

Il Dipartimento persegue una politica di crescita equilibrata con l'obiettivo di rafforzare le attività esistenti ma, al tempo stesso, espandere gli ambiti di interesse così da affrontare tematiche emergenti o che sono state finora sacrificate per mancanza di risorse. A questo scopo il Dipartimento prosegue nella strategia di apertura alla multidisciplinarietà, alla internazionalizzazione della ricerca e della didattica, alla acquisizione di personale docente esterno e giovani ricercatori in un'ottica di potenziamento della qualità del reclutamento. Incoraggia inoltre e sostiene la libertà di ricerca come metodo per l'innovazione. Sostiene infine le attività di terza missione contribuendo così alla realizzazione del piano strategico di ateneo.

1. Didattica integrata

Presentazione

Corsi di Laurea di primo e secondo livello

Il Dipartimento di Fisica offre un Corso di Laurea triennale in Fisica (L-30) e due Corsi di Laurea Magistrale, uno in Fisica (L-17) e uno in Astrofisica e Fisica dello Spazio (LM-58) che per l'anno 2021-22 ha operato un cambio di ordinamento per passare a corso di studio internazionale erogato in lingua inglese, Astrophysics and Space Physics. Un Consiglio di Coordinamento Didattico coordina e organizza la didattica e propone le delibere che poi vengono approvate in Dipartimento. Il Dipartimento contribuisce inoltre alla copertura di un numero crescente di esigenze didattiche di altri Corsi di Studio in Ateneo.

Presentazione dei Corsi di Laurea

Il Corso di Laurea triennale in Fisica fornisce una solida formazione di base in Fisica, sia negli aspetti teorici, sia nella parte sperimentale, con una forte preparazione in Matematica e attenzione all'Informatica e alla Chimica. Il terzo anno prevede il completamento della formazione di base nell'ambito della Fisica quantistica e degli insegnamenti obbligatori e scelta in cui lo studente può assaggiare aspetti più specifici legati alle tematiche di ricerca presenti nel Dipartimento.

I Corsi di Laurea Magistrale forniscono allo studente approfondimenti disciplinari che estendono e rafforzano le conoscenze di base acquisite durante il primo ciclo di studi. In particolare, la laurea Magistrale in Fisica è organizzata in tre curricula principali (Fisica teorica, Fisica Applicata e Fisica delle Particelle, Struttura della Materia) in ciascuno dei quali lo studente può ritagliare un percorso personalizzato. La laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio, ora Astrophysics and Space Physics, una delle poche presenti sul territorio italiano, e la seconda ad essere erogata in lingua inglese, offre insegnamenti su aspetti di punta nel campo dell'astrofisica. Mediante un lavoro di tesi della durata di poco meno di un anno, lo studente è chiamato a sviluppare e redigere un lavoro originale di ricerca sotto la guida di un relatore. Gli studenti sono stimolati a affrontare problemi alla frontiera della ricerca e spesso si trovano a svolgere la tesi in collaborazione con Centri di ricerca nazionali ed internazionali.

I Corsi di Studi si caratterizzano per l'estesa attività di laboratorio volta a consolidare le conoscenze progressivamente acquisite e a sviluppare e perfezionare capacità pratiche nella raccolta ed interpretazione dei dati oltre che a sviluppare *soft skills* quali il *problem solving* e il *team-working*. I laboratori prevedono un corso introduttivo sulla sicurezza che forma gli studenti ad una cultura della sicurezza nei luoghi di lavoro e che dal 2019 è riconosciuto formalmente in un credito formativo alla laurea triennale.

Tutte le attività didattiche utilizzano le attrezzature del Dipartimento di Fisica "G. Occhialini" presso questo Ateneo e, sia per quanto riguarda gli insegnamenti che i lavori di tesi, i Corsi di Laurea si avvalgono della preziosa collaborazione di personale e strumentazione di INFN, CNR, INAF e del Dipartimento di Scienze dei Materiali. Gli apporti di questi esperti qualificati sono essenziali per mantenere varia la nostra offerta formativa e mantenerne i contenuti innovativi.

La didattica nei Corsi di Laurea

Laurea triennale in fisica

A causa dell'incremento delle matricole molti degli insegnamenti del primo anno tenuti in comune con gli studenti di matematica sono stati triplicati, mentre tutti gli insegnamenti fondamentali di Fisica sono stati duplicati. Anche a livello laboratoriale, sono stati aumentati i turni ed i supporti specialmente per i laboratori dei primi due anni. In un progetto che mira a diminuire o comunque a mantenere costanti le percentuali di abbandono, sono stati introdotti a livello di Ateneo dei tutors di accompagnamento alle matricole, particolarmente utili durante il periodo di emergenza Covid19 per mantenere un contatto con gli studenti. Nell'anno accademico 2020-21 la didattica, seppure da remoto, si è svolta in gran parte sincrona o con eventi settimanali di incontro con gli studenti. I laboratori (salvo quelli di tipo informatico) si sono sempre svolti in presenza a piccoli gruppi, con un lavoro complesso di messa a punto di protocolli di sicurezza da parte dei docenti.

Lauree magistrali

La laurea magistrale in Fisica prevede insegnamenti fondamentali per ogni curriculum, esami affini comuni ed esami a scelta libera. Lo studente presenta un piano di studi approvato dalla commissione preposta che gli permette di seguire le proprie inclinazioni. Alcuni insegnamenti del corso sono tenuti in lingua inglese.

La laurea magistrale in Astrophysics and Space Physics utilizza l'inglese come lingua di erogazione.

La tesi magistrale va scritta in inglese in ambedue i corsi di studi. Durante gli insegnamenti dei laboratori di indirizzo agli studenti viene richiesto di lavorare in gruppo con criticità ed indipendenza, a risolvere problemi e a formulare soluzioni da applicare in modo professionale in modo da sviluppare capacità di comprensione e conoscenze spendibili nel mondo del lavoro, anche a livello internazionale.

Durante il periodo emergenziale dopo un primo periodo con la didattica principalmente asincrona, i docenti sono stati esortati ad erogare gli insegnamenti magistrali sincroni, come richiesto dagli studenti.

Prospettive per il futuro: cosa tenere dall'emergenza?

La sfida cui saremo chiamati una volta terminato il periodo emergenziale sarà quella di mettere a frutto ciò che abbiamo imparato sulla didattica da remoto e per rendere migliore e più innovativa la nostra offerta didattica. Partendo dalla convinzione che l'Università vada concepita come luogo di crescita, di confronto e di arricchimento personale oltre ad essere un luogo deputato all'apprendimento, pensiamo che sia un valore irrinunciabile la numerosa presenza degli studenti durante le lezioni. Un docente, infatti, non è chiamato solo a trasmettere contenuti, ma anche a motivare passioni, curiosità e scambi con gli studenti che un rapporto diretto rende sicuramente più facile. Detto questo, ci sono diversi gradi di modulazioni in cui la registrazione della lezione può essere continuata anche in tempi normali e fruita dagli studenti. Gli studenti che abitano lontani dalla sede dell'università potrebbero beneficiare di saltuarie lezioni da remoto, come anche gli studenti lavoratori. La commissione didattica sta studiando/studierà gli effetti della didattica a distanza sul rendimento degli esami ed elaborerà delle proposte da sottoporre al CCD e al Dipartimento.

Ovviamente una discussione più ampia e articolata di questi punti avverrà nella Scuola di Scienze in modo da avere, se possibile, una visione condivisa.

Autoanalisi delle azioni intraprese nel precedente PT

- Attività di orientamento: ci siamo particolarmente dedicati all'orientamento nelle varie proposte di Ateneo (Open Day, Primavera in Bicocca, interventi diretti nelle scuole, laboratorio Labex per le ultime classi delle scuole secondarie). In particolare, durante l'emergenza Covid l'Ateneo ha realizzato degli interventi di orientamento online che hanno riscosso molto successo. Abbiamo realizzato video di presentazione specifici per i vari corsi di studi e, come Dipartimento, abbiamo realizzato delle clips da parte di studenti, dottorandi assegnisti ed ex-studenti, per presentare l'attività del fisico. Abbiamo anche dato vita ad uno sportello in cui docenti si sono resi disponibili per rispondere a quesiti da parte di studenti interessati.

Per aiutare gli studenti in ingresso ad una scelta motivata che tenga conto delle proprie attitudini e dei propri interessi, in collaborazione con gli altri Corsi di Studio sono state organizzate giornate di orientamento con lezioni simulate e autovalutazione dell'apprendimento, che hanno riscosso grande successo (più di 300 partecipanti per giornata).

Sono inoltre state organizzate (anche in collaborazione con il Centro Interdipartimentale per gli Studi di Genere ABCD) attività specifiche per favorire l'equilibrio di genere nelle iscrizioni: workshop (tra cui "Women in Sciences: le Scienze con la D maiuscola"), webinar, seminari, giornate in laboratorio specificamente dedicate al genere femminile (STEMinthecity del Comune di Milano), sia come destinatari delle attività che come organizzazione da parte del Dipartimento.

- Didattica innovativa: Abbiamo potenziato l'uso della piattaforma Moodle per rendere disponibile il materiale per le lezioni e, da ultimo, le lezioni registrate, i link x gli incontri live etc. Ci siamo avvalsi di tutti gli strumenti informatici possibili (aule con podio, Kaltura recording, registrazioni con telecamere per i laboratori a distanza del secondo semestre 2020) durante il periodo di lockdown.

- Tutoraggio per gli studenti: per cercare di condurre gli studenti a rispettare maggiormente le tempistiche della triennale abbiamo introdotto tutoraggi curriculari in itinere che sono stati ben accolti dagli studenti. A questi si sono affiancati i cosiddetti tutoraggi di accompagnamento, in cui studenti più "meritevoli" della Laurea Magistrale mettono a disposizione la loro esperienza per supportare e consigliare, dopo un percorso formativo organizzato dall'Ateneo, gli studenti più giovani.

- Qualità della didattica: il contenuto degli insegnamenti, il loro carico didattico vengono costantemente monitorati attraverso i questionari discussi nella scheda annuale e nel riesame. La commissione paritetica porta alla attenzione del CCD e del Dipartimento eventuali criticità.

- Incremento dell'attrattività per studenti stranieri per le lauree magistrali: il cambio di ordinamento della laurea magistrale in Astrophysics and Space Physics in laurea internazionale si pone in questa direzione.

- Punti da monitorare e migliorare: Nel prossimo triennio svilupperemo azioni per cercare di accorciare il tempo di permanenza degli studenti nella laurea triennale, cercando di monitorare la quantità degli appelli di esame e la loro distribuzione temporale. Inoltre, per l'anno accademico 22-23, si è diviso l'insegnamento di Laboratorio 2 in due esami separati in modo da rendere più agevole per gli studenti l'acquisizione di CFU nella prima parte dell'anno. Restano sicuramente da migliorare i parametri per la internalizzazione su tutti e tre i corsi di studio.

Internazionalizzazione della didattica

Nel corso del triennio 18-20, il Dipartimento ha complessivamente rafforzato le proprie azioni nell'ambito dell'internazionalizzazione. È continuata la pubblicizzazione dei corsi erogati tramite il sito di Dipartimento, che prevede una sezione in lingua inglese. La sperimentazione di corsi tenuti esclusivamente in lingua inglese per le lauree magistrali in Fisica e Astrofisica è continuata con numeri progressivamente crescenti. Dai 20 corsi in inglese dell'a.a. 17/18, primo anno della sperimentazione, il numero dei corsi è cresciuto anno dopo anno, fino a raggiungere i 26 corsi in inglese dell'a.a. 20/21, di cui 18 per la laurea Fisica e 8 per quella in Astrofisica. Quest'ultima ha operato un cambio di ordinamento per passare, a partire dall'anno accademico 2021/2022, a corso di studio internazionale erogato interamente in lingua inglese e denominato "Astrophysics and Space Physics". L'efficacia delle azioni di internazionalizzazione del Dipartimento è inoltre testimoniata dal numero di studenti iscritti alla laurea triennale con cittadinanza straniera, così come da un aumentato scambio di studenti con l'estero nell'ambito dei programmi Erasmus. Tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021 si sono iscritti 62 studenti stranieri alla laurea triennale, a fronte di 53 studenti stranieri tra l'a.a. 2015/2016 e 2017/2018, con un incremento del 17%. Si osserva invece una contrazione degli studenti stranieri iscritti alla laurea magistrale in fisica o astrofisica, 8 tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021, da un numero pari a 13 nel triennio precedente. Nell'ambito del programma Erasmus il numero di studenti "outgoing" tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021 è stato di 27 per la laurea magistrale in fisica, da confrontarsi con 19 tra l'a.a. 2015/2016 e 2017/2018 (+30%). Si registra invece una lieve contrazione degli "outgoing" per la laurea triennale, 4 tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021 contro 5 tra l'a.a. 2015/2016 e 2017/2018. Come in precedenza, si rileva la netta preferenza degli studenti a svolgere un periodo all'estero nell'ambito della laurea magistrale. Per quanto riguarda la laurea in Astrofisica, il numero di "outgoing" si è ridotto da 5 tra l'a.a. 2015/2016 e 2017/2018 a 2 tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021. La complessivamente aumentata attrattività del Dipartimento sul piano internazionale è in particolare testimoniata dal numero di studenti "incoming". A fronte di 8 "incoming" nel periodo tra l'a.a. 2015/2016 e 2017/2018, se ne registrano 11 tra l'a.a. 2018/2019 e 2020/2021 (+38%). Anche a livello del dottorato, si assiste ad un importante incremento degli iscritti con cittadinanza straniera: 4 per i cicli dal XXXI al XXXIII e 9 per i cicli dal XXXIV al XXXVI (+125%).

Sul piano delle relazioni con altri dipartimenti di fisica internazionali, è stata completata la convenzione con l'Università del Surrey nell'ambito delle attività di dottorato. Nonostante non sia stato ancora possibile attivare lauree in co-tutela, sono stati attivati contatti con potenziali università estere interessate.

Dottorato di Ricerca

Il Dottorato di Ricerca in Fisica ed Astronomia copre il vasto spettro di studi e attività di ricerca del Dipartimento articolandosi in sei Curricula: Fisica Teorica, Fisica Subnucleare, Astrofisica, Fisica dei Plasmi e Biofisica, Fisica applicata ed Elettronica e Aspetti matematici della teoria delle stringhe. Quest'ultimo curriculum è stato attivato con l'accordo di International Dual Doctorate tra l'Università di Milano Bicocca e l'Università di Surrey (UK).

L'ultimo triennio ha visto il consolidamento della gestione delle attività didattiche e formative: i corsi specifici di dottorato organizzati internamente al Dipartimento sono cresciuti in numero e in varietà, avvalendosi anche di docenti esterni e attirando anche la partecipazione di studenti di altre Università, e si è potenziato l'uso delle pagine web del Dipartimento relative al Dottorato favorendo la diffusione delle informazioni su seminari e Scuole Internazionali. In occasione della pandemia Covid-19, che ha impedito lo svolgimento dei corsi in presenza, si è introdotto l'uso della piattaforma Moodle per la gestione dei corsi di dottorato che hanno

continuato a svolgersi da remoto, all'inizio principalmente registrati, poi tutti in streaming. Si è inoltre incentivata la partecipazione dei dottorandi ai corsi multidisciplinari organizzati dalla scuola di Ateneo, generalmente molto apprezzati.

Il numero di borse finanziate grazie a convenzioni o progetti di ricerca specifici è notevolmente aumentato rispetto al triennio precedente, gli ultimi tre cicli di dottorato hanno visto una media annua di 20 dottorandi totali, a fronte delle 6 borse di dottorato assegnate dall'Ateneo. Sono inclusi nel totale tre dottorandi Executive, partiti in questo triennio, e 2-3 dottorandi/anno "senza borsa" sostenuti tuttavia da altri finanziamenti.

Il Dottorato ha goduto del sostegno della convenzione con l'INFN che ha fornito con continuità borse di studio e supporto di docenti e strutture operative.

Oltre all'accordo di International Dual Doctorate, attivato nel 2019, si è potenziata l'internazionalizzazione riservando ogni anno una delle borse di Ateneo a laureati presso Università straniere e incentivando gli accordi di co-tutela. Questi sono rimasti tuttavia in numero limitato, anche a causa delle difficoltà di mobilità dovute alla pandemia. Va osservato che, data le caratteristiche di internazionalità di buona parte della ricerca svolta nel nostro Dipartimento, i dottorandi in Fisica ed Astronomia svolgono continuamente gran parte della loro attività di ricerca in ambito internazionale.

Indice delle Azioni previste nel triennio:

- **Azioni volte agli studenti (1.1-1.5)**
- **Azioni volte ai docenti (1.6-1.8)**
- **Azioni volte alla internalizzazione (1.9-1.11)**
- **Azioni volte al dottorato di Ricerca (1.11-1-14)**
- **Azioni volte alle scuole superiori (1.15-1.16)**
- **Azioni volte a nuovi Corsi di Studio (1.17)**

Azione 1.1 - Orientamento

Obiettivo specifico: aiutare gli studenti in ingresso ad una scelta motivata che tenga conto delle proprie attitudini (laurea triennale e magistrale) e dei propri interessi e favorire la collocazione nel mondo del lavoro degli studenti in uscita (laurea magistrale).

Descrizione: Il Dipartimento partecipa attivamente alle diverse attività di orientamento organizzate dall'Ateneo (Open Day delle lauree triennali e magistrali, Primavera in Bicocca, etc). A queste attività si affiancano quelle organizzate localmente dal Dipartimento, quali visite guidate ai laboratori di ricerca e seminari tematici svolti direttamente nelle scuole o nei locali dell'Università aperti agli studenti interessati.

Inoltre l'orientamento alle iscrizioni, puntando anche all'equilibrio di genere è una delle aree tematiche all'interno delle quali si svolgono le attività del progetto Piano Lauree Scientifiche (PLS), e, in collaborazione con i diversi gruppi PLS presenti a Milano-Bicocca, vengono organizzate diverse azioni in questo ambito come:

- Giornate di orientamento con lezioni simulate & autovalutazione: tre pomeriggi di lezioni-tipo di corsi del primo anno di un Corso PLS per mostrare il livello dei corsi universitari e far conoscere i vari CdS. Dopo ogni lezione gli studenti possono valutare la loro comprensione dei temi trattati rispondendo ad un questionario somministrato attraverso una app per smartphone (Kahoot) (fine febbraio, circa 400-450 studenti per volta).

- Attività specifiche per favorire l'equilibrio di genere nelle iscrizioni: workshop, webinar, seminari, giornate in laboratorio specificamente dedicate al genere femminile, sia come destinatari delle attività che come organizzazione da parte del Dipartimento.
 - Attività di Autovalutazione: gli studenti interessati possono accedere a un test di Autovalutazione come preparazione per affrontare le prove di Valutazione della Preparazione Iniziale (VPI) direttamente on line grazie a un lavoro dell'Università di Trento (<https://sites.google.com/g.unitn.it/autovalutazione>) e a partire dal 2020 sono accessibili anche le attività e prove di posizionamento del progetto ORIENTAZIONE, promosso da tutti i Progetti Nazionali PLS e svolto in collaborazione con il Consorzio CISIA (<https://www.orientazione.it/>).
 - "Cine-PLS": Le Scienze sono molto presenti nel cinema, eppure spesso questo non è percepito se non adeguatamente contestualizzato. In quest'ottica vengono organizzati, con la collaborazione del Cinema Rondinella di Sesto San Giovanni, dei cicli di proiezioni cinematografiche legate alle nostre discipline scientifiche. Le proiezioni sono introdotte da esperti dell'argomento trattato e seguite da un dibattito con esperti, studenti e insegnanti, anche nell'ottica della loro formazione.
 - Collaborazione con il Centro Interdipartimentale per gli Studi di Genere ABCD per attività volte a favorire l'equilibrio di genere in incontri rivolti agli studenti delle Scuole Superiori. Vengono promosse attività di ricerca e formazione quale spazi e opportunità di riflessione critica intorno al rapporto tra genere e orientamento (strumenti: focus group, interviste semi-strutturate e video interviste).
 - Workshop tematici su argomenti inerenti all'equilibrio di genere.
 - Scuole e Orientamento. Il Dipartimento di Fisica investirà le proprie competenze nella costruzione di video che possano essere messi a disposizione di studenti delle scuole superiori per una forma di auto-orientamento in ingresso. Questi video avranno come protagonisti gli studenti delle lauree triennali in Fisica e Astrofisica e Fisica dello Spazio. Il Dipartimento organizza anche attività di orientamento in ingresso alla laurea magistrale, attraverso seminari tematici durante i corsi di studio e momenti di presentazione delle attività dei gruppi di ricerca presenti e dei percorsi degli indirizzi della laurea magistrale. In aggiunta al Career Day di Ateneo e le attività specifiche di Job Placement dedicate agli studenti dei Corsi di Laurea in Fisica e Matematica, il Dipartimento continuerà ad organizzare incontri e seminari con rappresentanti delle attività territoriali del settore privato e pubblico per agevolare l'inserimento dei laureati nel mondo del lavoro.
- Cronologia:** azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: partecipazione alle giornate di orientamento, verifica ex-post sul numero degli iscritti, sul numero degli abbandoni e sulla durata effettiva degli studi rispetto alla durata legale dei corsi.

Azione 1.2 - Didattica innovativa per il monitoraggio e il rafforzamento delle competenze trasversali

Obiettivo specifico: verificare l'efficacia delle attività didattiche nel preparare gli studenti alla professione di fisici nel mondo dell'industria e della ricerca, dove sono necessarie competenze di problem solving, critical thinking, e teamwork, oltre a specifiche competenze teoriche e pratiche nel campo della fisica. Prevedere azioni di formazione dei docenti e sviluppo di attività didattiche mirate espressamente allo sviluppo di competenze trasversali negli studenti e specificamente capacità di problem solving, di critical thinking e di teamwork.

Descrizione: i nostri percorsi di laurea triennale e magistrale formano fisici che sono attivi nel mondo dell'industria, della ricerca, e dell'insegnamento. Oltre alle competenze teoriche e pratiche specifiche degli insegnamenti erogati, i nostri percorsi provvedono a fornire ai neo-

laureati competenze trasversali essenziali per queste professioni, tra cui la capacità di problem solving, critical thinking, e teamwork. Al momento, l'enfasi delle nostre attività didattiche è principalmente posta sulle attività legate alla conoscenza in campo fisico. Si propone dunque lo sviluppo di un'attività di monitoraggio e rafforzamento delle componenti trasversali con le seguenti azioni mirate sia ai docenti che agli studenti.

1. Fornire spunti a docenti su come introdurre e perfezionare tecniche di insegnamento che sviluppino allo stesso tempo le conoscenze settoriali e le competenze trasversali, ad esempio tramite workshop organizzati da fisici con il supporto/consulenza di esperti dell'educazione in approcci all'insegnamento come l'inquiry based learning che rendono lo studente protagonista attivo dell'esplorazione e apprendimento del problema/sistema fisico oggetto dell'insegnamento.

2. introdurre un insegnamento specifico dove gli studenti sono in grado di studiare problemi fisici in libertà (sotto la supervisione di tutors), con l'ausilio di dati, computer, e strumentazione che viene usata dagli studenti in autonomia. In questo spazio, gli studenti sono motivati ad attingere alle loro conoscenze in campo fisico per applicarle a un nuovo problema che deve essere capito, studiato, e modellizzato.

Cronologia: azione da avviare nel triennio.

Monitoraggio: stesura di questionari di autovalutazione somministrati durante il percorso di studio, utili a monitorare sia lo sviluppo delle competenze trasversali degli studenti, sia l'efficacia delle misure proposte.

Azione 1.3 - Tutoraggio

Obiettivo specifico: contrastare e ridurre la dispersione accademica nel corso della laurea triennale (L30), e aumentare il numero di laureati in corso nei tre corsi di laurea.

Descrizione: Il Dipartimento negli ultimi anni si avvale di un servizio di tutoraggio in itinere, organizzato con il sostegno dell'Ateneo, da parte di studenti della laurea magistrale, dottorandi, assegnisti e docenti. Lo scopo delle attività tutoraggio è duplice: il tutoraggio cosiddetto di "accompagnamento" è dedicato alle matricole del corso di laurea triennale (e nel 2020-2021 anche della laurea magistrale) per aiutare gli studenti ad orientarsi all'inizio della loro carriera universitaria. I tutor in questo caso sono studenti della laurea magistrale, che hanno frequentato la laurea triennale in Bicocca e sono quindi i più adatti a svolgere questa attività di orientamento e sostegno. Per queste figure è previsto un corso di formazione organizzato dall'Ateneo. Il secondo tipo di tutor comprende invece i tutor "disciplinari", che hanno il compito di facilitare l'apprendimento delle materie che presentano i maggiori ostacoli per gli studenti, e il ruolo in questo caso è coperto da dottorandi, assegnisti o docenti, interni od esterni. Anche in questo caso il Dipartimento può usufruire delle attività organizzate dal PLS, in ottica prevenzione abbandoni e formazione dei tutor disciplinari:

- Azioni di supporto alle iniziative di contrasto agli abbandoni: preparazione di materiale didattico per tutor disciplinari, ottimizzazione del corso di "Richiami di Matematica" organizzato dalla Scuola di Scienze, formazione di tutor di Matematica, e dei "Precorsi di Matematica" (a cura del PLS-Matematica).

- Iniziative per la formazione dei tutor disciplinari: monitoraggio della situazione esistente (a cura dei PLS disciplinari interessati); organizzazione di sessioni di formazione orizzontale, comune a tutti i PLS; con la collaborazione dell'Area di Formazione dell'Ateneo, organizzazione di un corso rivolto a sviluppare strategie di comunicazione didattica (tre pomeriggi, 9 ore complessive, circa 20 tutor partecipanti).

Infine, i docenti del Dipartimento, oltre ai referenti delle Lauree triennali e magistrali, si adoperano per fornire agli studenti un supporto per l'orientamento nella scelta della prova finale di LT e della Tesi di LM.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: verifica del numero di abbandoni e del numero di laureati in corso.

Azione 1.4 - Didattica innovativa e pandemia
Obiettivo specifico: potenziare strumenti didattici innovativi sfruttando le risorse utilizzate durante la pandemia.
Descrizione: utilizzo e potenziamento della piattaforma e-learning di Ateneo, uso di lezioni registrate con durata limitata per aiutare gli studenti a recuperare lezioni mancate, studenti lavoratori etc. Pianificazioni di eventi on-line con docenti/tutors per richieste di chiarimenti (alternativa al tradizionale orario di ricevimento studenti).
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: gradimento degli studenti per gli strumenti didattici innovativi, miglioramento del rendimento degli studenti (accorciamento dei tempi di laurea, voti più alti).

Azione 1.5 - Seminari alla frontiera della ricerca in Fisica e Tecnologia
Obiettivo specifico: offrire una visione del mondo della ricerca in Fisica Fondamentale ed Applicata con una modalità che stimoli un dialogo attivo tra gli studenti e gli esponenti del mondo della ricerca e fomentare la formazione interdisciplinare dei dottorandi.
Descrizione: nel triennio sono stati organizzati dai docenti del Dipartimento, in collaborazione con il Dottorato di Ricerca, seminari su argomenti alla frontiera delle conoscenze scientifiche. I seminari sono rivolti agli studenti delle lauree magistrali, ai dottorandi e ai ricercatori del Dipartimento. Si intende proseguire e potenziare l'attività coinvolgendo nell'organizzazione gli studenti magistrali e i dottorandi affinché diventino parte attiva nella scelta degli argomenti e nell'organizzazione di seminari, grazie al coinvolgimento delle associazioni studentesche, degli studenti di dottorato e degli studenti stessi. Si esploreranno modalità di promozione dell'interattività tra speaker ed audience (incontri riservati a speaker e studenti senza la partecipazione dei docenti, distribuzione di materiale prima del seminario, etc). Si prevede di mantenere sul sito del Dipartimento una documentazione completa dei seminari svolti.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio della soddisfazione degli studenti e dei dottorandi.

Azione 1.6 - Monitoraggio della qualità degli insegnamenti
Obiettivo specifico: migliorare costantemente la didattica erogata agli studenti.
Descrizione: monitoraggio dei contenuti degli insegnamenti, del loro carico didattico e delle loro propedeuticità. Interventi diretti basati sulle segnalazioni da parte degli studenti nei questionari sulla didattica. Saranno erogati internamente al Dipartimento questionari aggiuntivi per un monitoraggio più attento alle esigenze degli studenti e per monitorare l'andamento delle prove finali di LT e delle Tesi di LM.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio delle risposte degli studenti ai questionari e dei commenti degli studenti riportati dai rappresentanti e dalla commissione paritetica.

Azione 1.7 - Formazione e aggiornamento dei docenti
Obiettivo specifico: fornire ai docenti universitari utili strumenti per migliorare l'efficacia dell'azione didattica e stimolare l'interesse degli studenti, sia in didattica in presenza che in didattica a distanza.

Descrizione: proseguire le azioni rivolte all'aggiornamento dei docenti universitari del nostro Dipartimento, ampliando e migliorando l'offerta formativa. In aggiunta al corso “La didattica nella grande aula”, da segnalare e promuovere per tutti i docenti afferenti al Dipartimento, si intende approfondire la tematica della didattica della fisica a livello universitario. Verranno proposti seminari rivolti alla formazione dei tutors e dei docenti in ambito pedagogico, esplorando le interazioni tra insegnanti e studenti nel processo di apprendimento, l'influenza del gruppo dei pari, la rilevanza di proposte di attività extrascolastiche, e la prospettiva metacognitiva. Infine, verranno proposti seminari (sia quelli già organizzati a livello di Ateneo, sia alcuni specifici pensati per il Dipartimento stesso) per l'aggiornamento sulle piattaforme e sulla conduzione dei corsi e dei laboratori didattici utilizzabili da remoto.
Cronologia: azione già in corso, da proseguire ed implementare nel triennio.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio della soddisfazione di docenti e studenti.

Azione 1.8 - Creazione di una comunità di pratica per la didattica della Fisica
Obiettivo specifico: costituzione di una comunità di pratica interdisciplinare.
Descrizione: per costruire una comunità di pratica interdisciplinare tra insegnanti di diverse materie, ricercatori e scienziati/professionisti fisici, gli studiosi dell'Università di Milano Bicocca nei campi della fisica, dell'educazione, della psicologia, e della sociologia metteranno a sistema le loro competenze con l'obiettivo di progettare nuovi programmi di formazione degli insegnanti (di scuola primaria e secondaria) ed interventi scolastici mirati. Tra gli ambiti di intervento già in essere, coordinati dal Dipartimento di Fisica, si distinguono progetti a livello nazionale per la diffusione delle discipline STEM, con attenzione al divario di genere (cosiddetto gender gap). Cronologia: sono stati già proposti alcuni progetti comuni tra il Dipartimento di Fisica e quello di Scienza della Formazione, così come in collaborazione con altri dipartimenti scientifici, e si prevedono ulteriori azioni concrete nel triennio.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio e verifica dei progetti coordinati dal Dipartimento.

Azione 1.9 - Internazionalizzazione LM in Astrofisica e Fisica dello Spazio
Obiettivo specifico: Cambio di ordinamento per trasformare la Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio (classe LM-58) in corso di laurea internazionale e istituzione di accordi per doppie lauree.
Descrizione: Qualsiasi ricerca competitiva in astronomia, astrofisica e fisica dello spazio richiede ogni anno di più l'abilità di partecipare efficientemente a collaborazioni internazionali, sufficientemente ampie da includere le differenti competenze necessarie. Sempre più spesso le stesse competenze sono richieste nei campi di ricerca e sviluppo, analisi statistica, modellizzazione di processi complessi e di innovazione tecnologica al di fuori dall'ambiente accademico. Per questo motivo il Dipartimento di Fisica ha deciso di trasformare il Corso di Laurea in Astrofisica e Fisica dello Spazio in un corso di laurea internazionale, proponendo un nuovo ordinamento didattico e riprogettando l'offerta didattica proposta. Il cambio di ordinamento sarà propedeutico all'istituzione di accordi per doppie lauree con Atenei stranieri, facilitando ulteriormente l'inserimento degli studenti in un contesto internazionale.
Cronologia: azione già in corso, con un nuovo ordinamento per la futura laurea internazionale in corso di approvazione. Esplorazione di possibili partner internazionali per accordi di doppie lauree in corso, da proseguire nel corso del triennio.
Monitoraggio e verifica: instaurazione di accordi di doppie lauree nel triennio.

Azione 1.10 - Incrementare l'offerta formativa internazionale
Obiettivo specifico: promuovere attività formative internazionali, anche tramite lo scambio di studenti con Università ed enti di ricerca esteri.
Descrizione: incremento dei corsi erogati in lingua inglese per la Laurea Magistrale e loro pubblicizzazione tramite pagine web. Promozione dello scambio di studenti con atenei ed enti di ricerca esteri, in particolare attraverso programmi Erasmus ed affini.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: numero di corsi erogati in lingua inglese. Numero di studenti del Dipartimento che frequentano attività didattiche all'estero. Numero di studenti frequentanti attività didattiche del Dipartimento e con cittadinanza estera.

Azione 1.11 - Stipula di Dual Doctorate Programs o lauree in co-tutela
Obiettivo specifico: attrarre studenti stranieri; aumento del numero di dottorandi in co-tutela con università straniere, sia in uscita che in entrata.
Descrizione: Il Collegio dei Docenti intende favorire l'internazionalizzazione del percorso di dottorato e della ricerca collaborando con docenti di Università straniere per stabilire accordi di co-tutela per i propri dottorandi e per accogliere dottorandi stranieri. In particolare, è in programma il rinnovo dell'Accordo con il Dipartimento di Matematica dell'Università di Surrey per il Dual Doctorate Program “Aspetti matematici della teoria delle Stringhe”.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: numero di studenti stranieri arruolati in programmi di dual doctorate o lauree in co-tutela. Istituzione di almeno due nuove co-tutele di dottorato in uscita e in entrata.

Azione 1.12 - Istituzione di Dottorati Industriali / Internazionali
Obiettivo specifico: miglioramento dell'offerta formativa e di ricerca per i Dottorandi, dell'interazione con le industrie e dei contatti con centri di ricerca internazionali.
Descrizione: Il Collegio dei Docenti ritiene fondamentale aprire nuovi programmi di Dottorato con forte valenza interdisciplinare e/o applicativa favorendo iniziative di: 1) Dottorato Internazionale per programmi interdisciplinari di ricerca di base con emissione di titoli di dottorato multipli o congiunti, anche in collaborazione con altri dipartimenti. 2) Dottorato Industriale Executive o in Apprendistato in collaborazione con aziende sul territorio, in particolare negli ambiti di ricerca Biofisica, Fisica dei Plasmi, Elettronica, Medical Imaging ed Ambiente, per poter meglio interagire con il settore produttivo incentivando la più stretta collaborazione nella fase di ricerca&sviluppo. I dottorati industriali coinvolgono un dipendente dell'industria che viene allocato per il periodo del dottorato a svolgere attività di ricerca e formazione sotto la supervisione di un responsabile aziendale ed uno accademico.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: incremento delle posizioni di Dottorato Industriale ed apertura di un curriculum di almeno un Dottorato in convenzione con Università straniere.

Azione 1.13 - Ampliamento e Internazionalizzazione dell'offerta formativa del dottorato
Obiettivo specifico: aumento del numero di corsi specifici di dottorato attivati da parte del Dipartimento di Fisica affidati a docenti esterni.
Descrizione: nel triennio precedente sono stati attivati con regolarità numerosi corsi specifici per i dottorandi, tenuti da docenti interni ed esterni al Dipartimento. Si intende mantenere alto

il numero e il livello formativo dei corsi garantendo la varietà e l'innovatività. A tal scopo si prevede di affidare un congruo numero di corsi a docenti e ricercatori di Università ed enti di Ricerca stranieri di alto profilo.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: erogazione di almeno 4 corsi all'anno tenuti da docenti di Enti o Università straniere.

Azione 1.14 - Organizzazione di una Scuola di Dottorato intitolata "Topics on Microelectronics"

Obiettivo specifico: organizzazione di una serie di seminari organizzati in forma di Scuola di Dottorato sul tema della Microelettronica.

Descrizione: come proseguimento di quanto svolto in passato, si intende organizzare una Scuola di Dottorato sui temi inerenti la Microelettronica con lezioni da 3h da parte di eminenti ricercatori sia dal mondo della ricerca che dal mondo dell'industria. La Scuola sarà aperta anche a dottorandi e a persone interessate esterne.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: svolgimento della scuola, grado di soddisfazione degli studenti.

Azione 1.15 - Piano Lauree Scientifiche MUR

Obiettivo specifico: iniziative all'interno del Piano Lauree Scientifiche del MIUR per l'ambito fisico.

Descrizione: Il Dipartimento di Fisica aderisce sin dal suo avvio (2005) al Piano Lauree Scientifiche (PLS). Le attività svolte sono progettate e realizzate secondo quanto riportato negli specifici progetti nazionali, redatti secondo le seguenti linee guida riportate nel bando:

1. orientamento alle iscrizioni, puntando anche all'equilibrio di genere;
2. riduzione del tasso d'abbandono;
3. formazione e supporto dei tutor, monitoraggio del tutorato;
4. consolidamento dei "laboratori" per l'insegnamento delle scienze di base;
5. diffusione delle attività didattiche di autovalutazione e recupero;
6. crescita professionale dei docenti di materie scientifiche nella Scuola secondaria di secondo grado.

All'interno del Dipartimento è attivo dal 2005 Labex (<http://www.labexbicocca.it>) un laboratorio dedicato al progetto PLS, sviluppato dal 2005 e continuamente aggiornato.

Il Laboratorio, di tipo interattivo, ha lo scopo di avvicinare lo studente al metodo scientifico e stimolarlo all'analisi critica dei fenomeni osservati in stretta collaborazione fra docenti universitari e docenti della scuola superiore, con il supporto anche di enti esterni come l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Vengono condotte misure volte a verificare l'esistenza delle forze fondamentali della natura, essenziali sono l'interattività e l'immediatezza degli esperimenti proposti, significativi sia per il contenuto di fisica sia per i loro collegamenti con altre scienze (la matematica in particolare) e le tecnologie.

Il progetto LABEX prevede moduli di 20 ore di intervento su ogni classe o gruppo di circa 15/20 studenti, suddivise in tre fasi: introduzione e progettazione dell'esperienza, autoformazione in laboratorio e rielaborazione (ripensamento, modellizzazione, razionalizzazione e preparazione di un resoconto dell'esperienza fatta) a scuola.

Ogni anno più di 1100 studenti provenienti da più di 40 scuole diverse visitano LABEX facendo esperienze di Fisica Classica e Moderna, Elettromagnetismo, Ottica, Fisica delle particelle e Onde Gravitazionali, inserite nelle attività curriculari delle scuole, assistiti da personale del

Dipartimento e da un gruppo di studenti e dottorandi di Fisica. Le attività di LABEX sono coadiuvate da seminari e minicorsi su ambiti specifici. Tutte queste attività sono offerte a titolo gratuito alle scuole e sono gestite e documentate in un sito web dedicato (labexbicocca.it).

Le attività sono annualmente sottoposte a verifica tramite la somministrazione di questionari online agli studenti e ai docenti delle Scuole Superiori che hanno fruito del LABEX.

Il gruppo PLS dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca organizza inoltre sinergicamente attività di orientamento, prevenzione abbandoni e formazione tutor disciplinari, oltre a workshop, dedicati agli insegnanti delle scuole secondarie di secondo grado.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio: questionari compilati online da studenti e docenti delle Scuole Superiori, numero di eventi organizzati e partecipazione.

Azione 1.16 - Scuole Superiori svolte in ambito internazionale

Obiettivo specifico: gestione della MasterClass di Fisica delle Particelle e dell'International Cosmic Day in collaborazione con INFN e Università internazionali.

Descrizione: dal 2014 è attivato il ciclo di MasterClass di Fisica delle Particelle, attività organizzata dal IPPOG (International Particle Physics Outreach Group) a cui partecipa l'esperimento LHCb del CERN. Il Dipartimento ha raccolto ogni anno l'adesione di numerose scuole presenti nel territorio. La MasterClass permette agli studenti di conoscere l'attività dei ricercatori del CERN e, seguiti da tutors, lavorare direttamente su dati raccolti al CERN da LHCb. La giornata si svolge in collegamento via rete con altre università europee e americane.

Dal 2018 il Dipartimento partecipa all'International Cosmic Day, organizzato in collaborazione con diversi laboratori di ricerca europei e americani. Nel Cosmic Day studenti, insegnanti e ricercatori si confrontano sul tema dei raggi cosmici, avendo occasione di approfondire le basi teoriche, effettuare misure sperimentali, presentare i risultati ottenuti, scrivere un report. Anche in questo caso il Dipartimento ha raccolto l'adesione di numerose scuole nel territorio.

Entrambe le attività si avvalgono della collaborazione con l'INFN.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio: raccolta di questionari compilati online dai partecipanti.

Azione 1.17 - Corsi di Laurea interAteneo in Intelligenza Artificiale

Obiettivo specifico: Rispondere all'esigenza di nuove competenze nel settore dell'intelligenza artificiale da parte del mondo della ricerca e delle imprese.

Descrizione: Il Dipartimento contribuisce allo sviluppo di nuovi Corsi di Laurea in lingua inglese in Intelligenza Artificiale (AI) (3+2) in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano e con l'Università di Pavia.

Relativamente al Corso di Laurea Triennale, il Dipartimento è coinvolto con corsi di studio di Fisica Sperimentale per l'AI, Aspetti teorici e di fisica quantistica per l'AI, mentre al terzo anno è previsto un percorso di specializzazione in "Physics for AI: Environment, Health and Quantum Information", che ha l'obiettivo di formare una nuova figura professionale, dotata di una solida base concettuale di fisica, matematica ed informatica che gli permetta di progettare soluzioni basate sull'AI in ambito sia industriale che di ricerca.

Il laureato sarà in grado di individuare soluzioni e strumenti basati sull'AI in ambiti applicativi che includono l'area biomedica, l'area ambientale e più in generale tutti i contesti in cui si devono affrontare problemi di elaborazione, classificazione, ottimizzazione e riconoscimento di dati provenienti da misurazioni automatiche (sensoristica) o da sistemi di acquisizione di immagini (*imaging* medicale e non) in tutto lo spettro della radiazione elettromagnetica; in ambiti di frontiera o di ricerca, che includono lo sviluppo e le applicazioni dell'informazione

quantistica, e l'uso di tecniche di apprendimento automatico e di analisi di dati relativi a sistemi fisici complessi applicati ad ambiti di ricerca, quali l'astrofisica o la fisica subnucleare.

Il laureato collaborerà da un lato con figure professionali di ambito informatico, dall'altro con figure professionali che contribuiscono allo sviluppo di dispositivi quali sensori e rivelatori e delle componenti elettroniche per la misura e conversione del segnale, dall'altro con le figure professionali che gestiscono in prima persona i problemi applicativi affrontati (medici, geologi, bioingegneri, ingegneri dello spazio, ricercatori, ecc). Per ampliare le proprie capacità di *problem solving* e gli ambiti di conoscenza cui si applicano e per accedere a ruoli di coordinamento il laureato potrà quindi trarre vantaggio da una formazione a livello di laurea magistrale, sia nello specifico campo dell'intelligenza artificiale, sia in discipline di ambito fisico, matematico ed informatico.

Le competenze fornite da questo percorso coniugano le tradizionali competenze di base del laureato in discipline scientifiche con una conoscenza delle tecniche più recenti di AI e del loro uso in contesti sia strumentali che teorici. In particolare, il laureato avrà la capacità di affrontare, mediante strumenti AI, problemi che richiedono l'uso e l'ottimizzazione di strumentazione di misura o di laboratorio, componenti e sistemi fisici; l'analisi e l'aumento di qualità di dati e di immagini, la comprensione delle loro proprietà statistiche; lo sviluppo di algoritmi e di modelli matematici data-driven a partire da Big Data. Il laureato avrà una specifica conoscenza di tecniche nel campo della sensoristica e della computazione quantistica, avendo sviluppato una notevole capacità di lavorare in gruppo, specificamente in ambito internazionale, con diversi livelli di responsabilità.

Gli sbocchi professionali saranno sia nel settore privato (piccole e medie aziende innovative, grandi player industriali, ospedali privati), sia in quello pubblico (enti nazionali per la gestione e il monitoraggio ambientale e spaziale, IRCCS ospedalieri, ospedali pubblici). Il laureato potrà inoltre accedere a percorsi di Laurea Magistrale per specializzazioni in ambiti tecnico-scientifici o applicativi rispetto ai settori ambiente e salute.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: numero di studenti iscritti.

2. Ricerca e Valorizzazione della ricerca

Presentazione

Le attività di ricerca in cui il Dipartimento di Fisica è coinvolto coprono un ambito molto vasto e diversificato, sono spesso realizzate nell'ambito di prestigiose collaborazioni internazionali e riguardano campi di ricerca che sono all'avanguardia della fisica sperimentale e teorica. Le attività sono incardinate su 7 gruppi di ricerca, anche se esistono attività trasversali che definiscono importanti collaborazioni tra i gruppi. I 7 gruppi sono i seguenti:

1. Astrofisica
2. Biofotonica e Biofisica
3. Elettronica
4. Fisica Applicata (Medicina, Ambiente, Beni Culturali)
5. Fisica dei Plasmi
6. Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali
7. Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Nel seguito, per ciascuno di essi, si riporta una breve descrizione inclusiva dell'autovalutazione sui risultati scientifici conseguiti nello scorso triennio e delle principali sfide attese per il prossimo (sezione 2.1). Successivamente (sezione 2.2) si presentano le infrastrutture di ricerca di Dipartimento ed Ateneo, le collaborazioni con enti, imprese e associazioni e le collaborazioni e sinergie intra e inter-dipartimentali (sezione 2.3).

2.1 Analisi del pregresso ed autovalutazione

2.1.1 Astrofisica

Staff - Il gruppo di astrofisica è cresciuto considerevolmente nello scorso triennio con l'arrivo di cinque nuovi membri dello staff, di cui 4 reclutati in ambito internazionale tra i vincitori di grant dell'European Research Council. Grazie all'elevato numero di grant per un ammontare superiore ai 6.5 milioni di euro, il gruppo ha visto anche una crescita significativa nel numero di studenti e ricercatori provenienti da tutto il mondo, tra cui due vincitori di borse Marie Curie.

Collaborazioni - In parallelo e grazie a questa crescita del personale, il gruppo ha rafforzato notevolmente la propria presenza e il proprio contributo all'interno di importanti consorzi internazionali (LIGO-Virgo Collaboration, LISA, IPTA, LiteBird e Simons Observatory, Vestige/MUSE GTO, WEAVE).

Ricerca - Ottimo progresso rispetto agli obiettivi dello scorso triennio è stato registrato in tutte e tre le aree di attività del gruppo (cosmologia sperimentale, fisica delle onde gravitazionali e degli oggetti compatti e fisica delle strutture cosmiche). Partendo da un eccellente punto di partenza, la sfida principale per il prossimo triennio è quella di rafforzare ulteriormente e far emergere nuovi ruoli di leadership e coordinamento (e non solo partecipazione) in grandi consorzi internazionali, con staff del Dipartimento impegnato in ruoli sia di direzione che di produzione scientifica di rilievo all'interno di alcune delle principali missioni internazionali in astrofisica. Dal punto di vista scientifico, la grande sfida che il nostro gruppo affronterà con i nuovi metodi sviluppati negli ultimi anni è svelare la natura degli ingredienti fondamentali dell'universo e la relazione tra le galassie e la struttura dell'universo su larga scala. Gli esperimenti innovativi che stiamo costruendo consentiranno di osservare per la prima volta le onde gravitazionali nell'universo primordiale previste dalla teoria dell'inflazione cosmica, studiare le componenti di energia oscura e materia oscura presenti nell'universo,

comprendere il ruolo dei campi magnetici nella formazione di oggetti celesti, misurare la massa dei neutrini, e rivelare la possibile esistenza di nuova fisica oltre il modello standard.

Produzione Scientifica - Nello scorso triennio (2018-2020) i membri del gruppo hanno pubblicato 256 pubblicazioni scientifiche nelle tematiche sopra citate, collezionando più di 11,000 citazioni stando al database NASA/ADS.

2.1.2 Biofotonica e Biofisica

Staff - Il gruppo è cresciuto notevolmente nell'ultimo triennio in termini di numero unità di personale staff e di ruoli: si sono avute due progressioni di carriera e sono stati reclutati due assegnisti di ricerca di cui uno afferente al Centro di Nanomedicina. Questo ha permesso di ampliare le attività di ricerca e sviluppo con forti finalità applicative.

Collaborazioni - Il gruppo ha collaborazioni con i gruppi di Ingegneria Fisica e di Bioingegneria del Politecnico di Milano, con il CNR di Milano (microstrutturazione laser di dispositivi per la ricerca biomedica), con il centro ISASI del CNR di Pozzuoli (Digital Holography di sistemi cellulari e batterici) e con IIT e università di Genova (microscopia ottica in singola molecola e in illuminazione strutturata). Internazionalmente, il gruppo collabora con il centro FORTH (Creta) per la microstrutturazione laser e con l'università di Turku (FI) per la stampa di film nanostrutturati.

Finanziamenti e Ricerca - Il gruppo ha ricevuto due quote premiali di Ateneo e finanziamenti (i) dalla fondazione U4I, (ii) da fondazioni di ricerca straniera (Norvegia) e (iii) dalla comunità europea. (i) è un finanziamento ancora in corso alla data del gennaio 2021, che prevede lo sviluppo di sistemi di trattamento medico foto-termico e loro brevettazione. (ii) è un progetto tecnologico-applicativo dal titolo "NanoFunPak-Development of next generation smart packaging solutions for food industry" nel campo del food-packaging coordinato dalla ditta norvegese NOFIMA e in collaborazione con l'università di Turku (Abo University, Turku, FI). (iii) è un progetto FET (Future & emerging Technologies) dal titolo "IN2SIGHT: An in vivo bioengineered chip as a smart intravital multiphoton imaging window for new validation protocols of biomaterials", con coordinazione in capo al gruppo di Biofisica del nostro Ateneo, iniziato nel marzo 2021.

Divulgazione e terza missione - Il gruppo ha organizzato eventi divulgativi (Notte dei Ricercatori, 2018, 2019), partecipato al comitato scientifico di conferenze come "Optical Metrology 2019" (società internazionale di Fotonica - SPIE) e organizzato la scuola di dottorato internazionale "Quantitative analysis of optical imaging for Medicine and Biophysics", (2021 on-line) con la società italiana di Biofisica (SIBPA), l'Institute Pasteur (Parigi) e CNR-ISASI.

Ha ottenuto due brevetti: un brevetto italiano (estensione PCT USA e Canada in atto) "Film polimerici contenenti nanoparticelle con effetto fototermico e loro applicazione come cerotti termici"; brevetto internazionale in collaborazione con il Politecnico di Milano e con il CNR (Milano) dal titolo "Implantable Medical device" (Ottobre 2020).

Produzione Scientifica - Nello scorso triennio (2018-2020) i membri del gruppo hanno pubblicato 24 pubblicazioni scientifiche nelle tematiche sopra citate, collezionando più di 700 citazioni stando al database Scopus.

2.1.3 Elettronica

Staff - Il gruppo di Elettronica nell'ultimo triennio è cresciuto, avendo ottenuto un RTDB e aumentando il numero di dottorandi (raggiungendo il 25% sul totale del Corso di dottorato in Fisica e Astronomia) con anche 4 dottorati industriali, tutti finanziati su fondi propri, provenienti dai contratti con partner industriali e dai progetti finanziati. Sono aumentati anche

gli studenti della laurea triennale e magistrale (raggiungendo il 20% sul totale). Sono stati ospitati anche alcuni visiting. Il Gruppo ha ormai una composizione internazionale, dimostrandone l'attrattività.

Finanziamenti e Collaborazioni - Nel triennio 2018-20 sono stati acquisiti finanziamenti per un totale di € 3.5 Milioni. Numerose sono le collaborazioni industriali con Infineon (Italia e Austria), Melexis (Germania) e STMicroelectronics (Francia). Il Gruppo ha operato da PI in due progetti MIUR-PRIN (Anithing e Brain28) e tre esperimenti finanziati dall'INFN (ProSD, ScalTech28 e FinFet16v2). Inoltre il gruppo ha partecipato a due progetti Europei ECSEL (iDev4.0 e UltimateGaN) e un progetto regionale (Pignoletto).

Produzione Scientifica - Il Gruppo oltre alla crescente raccolta di finanziamenti ha aumentato anche la sua produzione scientifica: nel triennio 2018-2020: sono stati pubblicati 26 articoli su rivista internazionale (con referee) e 29 presentazioni a conferenze internazionali (con referee). Importanti riconoscimenti sono stati il Best Paper Award alla conferenza IEEE-CICC e numerosi award alla conferenza per dottorati IEEE-PRIME. Anche l'IEEE Solid-State Circuits Society Italian Chapter (che ha sede nel Dipartimento) è stato premiato nel 2020 come Best SSC Society Chapter.

Ricerca - Il gruppo si occupa prevalentemente di microelettronica. L'attività svolta riguarda lo sviluppo di circuiti integrati analogici e misti analogico-digitali sia per esperimenti di ricerca che per applicazioni industriali, tra cui contributi originali che hanno permesso al gruppo di aver accesso (primo in Europa) alle tecnologie nanometriche 28nm-CMOS e 16nm-finFeT studiate per lo sviluppo di circuiti resistenti alle radiazioni.

Il riconoscimento internazionale dei risultati ottenuti ha consentito di programmare presso il nostro Ateneo due importanti appuntamenti: il Workshop 'Advances on Analog Circuit Devices' (AACD19) nel 2019 e l'ESSXXRC22 (la più importante conferenza europea del settore della microelettronica) nel 2022. Nel triennio scorso è stata completata l'attività del PRIN2015 per lo sviluppo di ricevitori ad alte prestazioni per terminali 5G e lo sviluppo di un front-end A/D per piattaforme multisensoriali (con Infineon-Austria). È stata avviata l'attività del PRIN2017 per un'interfaccia elettronica col cervello. L'attività svolta e i risultati ottenuti saranno punti di partenza per gli sviluppi nel prossimo triennio, in cui alle già ben avviate attività nello sviluppo di circuiti integrati per esperimenti di ricerca e per applicazioni industriali si affiancherà l'attività nascente dedicata alle applicazioni biomedicali in particolare per dispositivi di interfaccia con gli organi che per la strumentazione biomedica avanzata.

2.1.4 Fisica Applicata (Medicina, Ambiente, Beni Culturali)

Staff - Nel precedente piano triennale la ricerca in Fisica Applicata ai settori della Medicina e dei Beni Culturali era una attività trasversale a più gruppi di ricerca. Solo recentemente è stato possibile intensificare questa attività e avviare una linea di ricerca autonoma mediante l'istituzione di una posizione dedicata di PO. Il gruppo include oggi 3 docenti, 4 assegnisti presso il CERN e 2 dottorandi attivi nell'ambito della Fisica Applicata alla Medicina. Le ricerche nell'ambito dei Beni Culturali si avvalgono inoltre della collaborazione di due tecnici.

Collaborazioni - Particolarmente rilevanti sono le collaborazioni con il CERN, con l'Istituto di Bioimmagini e Fisiologia Molecolare del CNR e inoltre con il Dipartimento di Scienze della Salute e con Ospedali del territorio lombardo, in particolare gli ospedali San Gerardo e San Raffaele. Si ha così accesso a grandi infrastrutture di diagnostica medica (p.es. i sistemi tomografici 2D e 3D di ultima generazione) e per le applicazioni delle ricerche in fisica medica su pazienti. Per le applicazioni ai Beni Culturali è importante la collaborazione con il reattore LENA di Pavia e l'accesso alle grandi infrastrutture di ricerca (neutroni e luce di sincrotrone).

Ricerca - La collaborazione con l'IBFM-CNR rappresenterà uno dei punti di forza per la crescita delle attività di ricerca in Fisica Medica: i) per le attività che riguardano lo sviluppo e la messa a punto di metodologie e strumentazione biomedicale che provengono dalla ricerca fondamentale ma anche dalla ricerca industriale (ad es. rivelatori e sistemi di rivelazione per l'imaging medicale); ii) per lo sviluppo di nuove attività di ricerca finalizzate alla messa a punto di tecniche di quantificazione delle immagini medicali combinate a tecniche computazionali avanzate (biostatistica e intelligenza artificiale) allo scopo di estrarre dalle immagini biomarcatori di patologia per la diagnosi nell'uomo e per il monitoraggio delle terapie, in particolare relativamente alla radioterapia a guida di immagini, e iii) per la ricerca in tematiche di Big Data, in particolare che provengono da imaging medico integrato alle scienze omiche (es. genomica ed epigenomica) finalizzate alla diagnostica e terapia (teranostica) di precisione.

Queste attività di ricerca fortemente innovative nell'ambito dell'intelligenza artificiale e dei Big Data saranno favorite anche dai corsi di Didattica Magistrale di cui sono responsabili membri del gruppo, corsi che hanno avuto la capacità di attrarre centinaia di studenti, con una media di 4+4 tesisti di laurea all'anno. Il gruppo di fisica medica intende nel prossimo futuro attrarre studenti di dottorato e giovani ricercatori in questi nuovi ambiti strategici della Fisica Medicina integrata alla scienza dei dati, sia a livello nazionale che internazionale.

Nell'ambito dei beni culturali, il Dipartimento di Fisica si occupa della messa a punto di nuove tecniche di indagine e di sviluppo di nuovi rivelatori.

Vengono utilizzate diverse tecniche di indagine, basate su metodi fisici, per esempio analisi per attivazione neutronica, spettrometria di massa (ICP-MS e TIMS), spettrometria alfa, beta e gamma, spettroscopie neutroniche (come diffrazione, imaging e cattura risonante). Le ricerche si concentrano sulla caratterizzazione di materiali di interesse storico-artistico, sia nei laboratori presenti in Dipartimento sia in *large scale facilities* in Italia (LENA-UNIPV, LNGS-INFN) e all'estero (ISIS/RAL-UK, PSI-CH, BNC-H, ESS-S).

Si svolge attività di R&D in collaborazione con l'INFN ed in particolare con la rete dei beni culturali CHNET, di cui la sezione INFN di Milano Bicocca costituisce un nodo di primo livello.

In collaborazione con l'INFN è stato condotto l'esperimento CHNET_TANDEM, con la partecipazione di UniSS e LENA, per l'implementazione di due nuove tecniche analitiche: Spettroscopia Muonica - MAXRS (Muonic Atom X-ray Spectroscopy, presso il laboratorio ISIS/RAL-UK) e l'analisi per attivazione neutronica prompt gamma (presso il LENA-UNIPV).

Un nuovo esperimento, CHNET_NICHE, sempre finanziato da CSNV INFN è in corso per la messa a punto della prima facility italiana dedicata all'imaging di neutroni, presso il LENA di Pavia.

In particolare, la collaborazione con ISIS è stata rafforzata con la costituzione di una borsa di dottorato congiunta UNIMIB/ISIS per un dottorando UNIMIB che si occupi dell'ampliamento e sviluppo della beamline dedicata alla spettroscopia muonica presso ISIS/RAL.

Tra i principali musei con cui stiamo collaborando ricordiamo: Museo archeologico nazionale di Firenze (M. Iozzo); Museo archeologico nazionale di Aquileia (E. Galletti, M. Novello); Scavo archeologico di Sant'Imbenia (M. Carpinelli, M. Rendeli, V. Sipala, P. Oliva, MIBACT); Gulf Institut of Gemology, Muscat, Oman (M. Musa).

Pubblicazioni - Nel passato triennio (2018-2020) il gruppo ha pubblicato 40 pubblicazioni scientifiche nelle tematiche sopra citate.

Finanziamenti - Per quel che concerne l'accesso ai finanziamenti, il neonato gruppo di ricerca ha attivato nel 2020 iniziative multicentriche per la ricerca di risorse economiche, applicando nel 2020 a 2 bandi di ricerca pubblici, il primo Europeo, finalizzato alla ricerca per le malattie dell'infanzia, il secondo nazionale (PRIN) focalizzato alla diagnosi differenziale e alla terapia del carcinoma della mammella. Nel prossimo triennio il team di ricerca proseguirà questa strategia di finanziamento mirata alla crescita del gruppo e all'investimento in risorse strumentali e di calcolo per le attività di ricerca presso il Dipartimento.

2.1.5 Fisica dei Plasmi

Staff - Il gruppo di fisica dei plasmi ha avuto un'ottima crescita nello scorso triennio, testimoniata dall'aumento del numero di strutturati (da 5 a 7) e dall'attrazione di un maggior numero di dottorandi (da 4 a 6). La riduzione del numero di assegnisti (da 11 a 3) è dovuta al fatto che molti hanno trovato impiego in posizioni a tempo indeterminato presso enti di ricerca o industrie, ed è dunque indice della capacità del gruppo di formare figure con alto potenziale di successo nel mondo della ricerca e dell'industria.

Ricerca e Finanziamenti - Nella maggior parte dei casi, le attività di ricerca hanno raggiunto o ampiamente superato gli obiettivi prefissati. È stata sviluppata strumentazione per la misura di radiazione nucleare presso esperimenti sulla fusione nucleare a confinamento magnetico o le sorgenti a spallazione. Le collaborazioni del gruppo con le principali infrastrutture di ricerca internazionali sulla fusione termonucleare si sono rafforzate, con incremento dei ruoli di coordinamento e la stipula di accordi di collaborazione bilaterale pluriennali. Di particolare rilevanza è l'imminente ingresso del gruppo in qualità di socio della società SCARL per la realizzazione, su suolo italiano, dell'esperimento internazionale Divertor Tokamak Test. Le attività nell'ambito della fusione termonucleare sono state supportate da un budget superiore ad 1 MEuro nel corso del triennio, prevalentemente mediante la vincita di bandi competitivi del consorzio Eurofusion.

Nell'ambito della fisica dei plasmi di base e per le applicazioni industriali è continuato l'impiego della macchina Thorello sia per attività di ricerca, sia per la formazione. Sono continuate le attività di ricerca sui plasmi per le applicazioni industriali, anche nell'ambito dello spin off PLUME, con la realizzazione di progetti innovativi e particolarmente attuali come la purificazione dell'aria nelle stanze d'ospedale. La rilevanza delle attività sulle applicazioni dei plasmi è dimostrata dal buon numero di brevetti depositati.

Rispetto a quanto pianificato per il triennio, si rileva esclusivamente un ritardo nella realizzazione del laboratorio di neutroni SOURIRE, dovuto ad una minore velocità nella costruzione dell'edificio che ospiterà il laboratorio rispetto a quanto preventivato e al maggior tempo richiesto per l'ottenimento delle necessarie autorizzazioni. Tali ritardi, in gran parte in corso di soluzione, sono però indipendenti dalla volontà del gruppo che, invece, ha concluso la fase di progettazione del laboratorio e l'acquisto della principale strumentazione necessaria. Sulla base del significativo progresso raggiunto nel triennio trascorso, si è confidenti nella possibilità di ultimare il laboratorio nel corso del prossimo triennio.

Produzione Scientifica - L'attività scientifica svolta dal gruppo nel corso del triennio è stata presentata in più di 50 pubblicazioni con referee sulle principali riviste di riferimento per i temi della fusione termonucleare controllata, lo sviluppo di strumentazione nucleare, le applicazioni dei plasmi per l'industria e la turbolenza nei plasmi semplicemente magnetizzati.

2.1.6 Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

Staff - Durante il passato triennio il gruppo è cresciuto considerevolmente sia in termini di progressioni di carriera che in termini di nuove risorse umane acquisite mediante contratti, spesso cofinanziati su fondi INFN o fondi esterni. Oggi conta 23 strutturati e 13 assegnisti di ricerca, diversi dottorandi, borsisti e laureandi.

Collaborazioni e Finanziamenti - Il gruppo collabora stabilmente con l'INFN avendo anche diversi incarichi istituzionali al suo interno come il Direttore dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso e 3 membri delle Commissioni Scientifiche Nazionali. La rete di collaborazioni nazionali ed internazionali del gruppo Particelle è estesa e caratterizzata da relazioni di grande intensità. Essa include prestigiosi laboratori internazionali come il CERN, a Ginevra i Laboratori Nazionali

del Gran Sasso a L'Aquila, il FermiLab a Chicago, il RAL ad Oxford oltre a numerose Università italiane e straniere. Queste attività hanno come principale fonte di finanziamento l'INFN (circa 1.2 MEuro/anno) e inoltre beneficiano di fondi PRIN e EU (circa 1 MEuro nel triennio).

Ricerca - Le attività sperimentali spaziano dalla Fisica delle Particelle alla Fisica Astroparticellare e sono prevalentemente inserite nel contesto di importanti esperimenti realizzati da collaborazioni internazionali: CMS e LHCb (al CERN) CUORE e CUPID (ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso), JUNO (in Cina), Icarus e DUNE (al FermiLab). La crescita del gruppo ha consentito di consolidare la presenza di Milano-Bicocca in queste collaborazioni e ha avuto come conseguenza anche l'incremento nel numero di posizioni di coordinamento e leadership ricoperte dai ricercatori di Milano-Bicocca. Per il prossimo triennio si aprono nuovi orizzonti e nuove sfide che il gruppo sta già iniziando a perseguire e che vanno dagli upgrade degli esperimenti ora in fase di acquisizione dati a nuove attività come quelle legate ai Fasci di Neutrini, alle nuove fasi di presa dati di LHC ad alta luminosità, o alle Quantum Technologies.

Produzione Scientifica - Gli obiettivi di progresso delle attività di ricerca proposti nello scorso triennio sono stati ampiamente raggiunti e accompagnati da un'eccellente e ampia produzione scientifica (vengono ampiamente superate le mediane dell'abilitazione scientifica nazionale, spesso anche dai giovanissimi) che abbraccia non solo la Fisica delle Interazioni Fondamentali ma anche le attività di sviluppo tecnologico realizzate in questo contesto. Queste ultime attività sono particolarmente rilevanti per la loro connessione con ambiti più applicativi che vanno dalla Fisica Medica alle Quantum Technologies.

2.1.7 Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Staff e Finanziamenti - La vitalità del gruppo è evidenziata anche dal fatto che, negli ultimi anni, il gruppo è riuscito ad attrarre 24 postdoc da tutto il mondo, 2 RTDA e ha avuto 18 studenti di dottorato.

Recentemente ha anche acquisito un professore associato, vincitore di un ERC Starting Grant, proseguendo la scia di reclutamento di vincitori di ERC, come già successo negli anni precedenti.

Tramite competizioni nazionali e internazionali, il gruppo è riuscito ad attrarre nuovi grants per un ammontare di 2.43 M euro (ERC StG, Bando Attrattività CARIPO-Regione Lombardia, Bando FARE MUR, PRIN), che si sono aggiunti alle rimanenze del triennio precedente, ovvero altri 953 K euro, da un ERC StG e una borsa CARIPO, iniziate alla fine del 2015.

Inoltre, grazie ai risultati ottenuti e alla stesura di progetti competitivi, il gruppo ha accesso a diversi progetti di calcolo con alte prestazioni, attingendo a diverse centinaia di milioni di "core hours" (progetti finanziati dall'INFN, Prace e Iskra Project).

Produzione Scientifica - I membri del gruppo hanno inoltre pubblicato più di un centinaio di articoli su riviste con referaggio internazionale di esperti anonimi, confermando così l'intensa produzione scientifica.

2.1.8 Infrastrutture di Dipartimento/Ateneo.

Il Dipartimento dispone di circa 40 infrastrutture, intese come apparecchiature con valore di acquisto superiore a 40kEuro. Le infrastrutture sono principalmente al servizio delle attività di ricerca.

Il Dipartimento partecipa alla infrastruttura ISIS@MACH ITALIA, coordinata dal CNR e inserita nel PNIR.

Fra le infrastrutture utilizzate anche per attività conto terzi si segnalano le seguenti.

Analizzatore vettoriale di reti in banda millimetrica

L'analizzatore vettoriale di reti in banda millimetrica insieme alle estensioni sub-millimetriche fino a 170 GHz, presente nei laboratori del gruppo di Astrofisica, è stato utilizzato per testare dispositivi e componenti alle microonde, sia a temperatura ambiente che a temperature criogeniche. I test alle basse temperature sono possibili grazie alla camera criogenica, appositamente disegnata per accoppiarsi all'analizzatore vettoriale. Durante lo scorso triennio l'infrastruttura è stata utilizzata in modo massiccio per diversi programmi di ricerca, come LSPE-STRIP e QUBIC per la ricerca dei modi-B di polarizzazione della radiazione cosmica a microonde, producendo una ventina di pubblicazioni negli ultimi tre anni. Inoltre l'analizzatore di reti ha attratto un certo numero di progetti di ricerca, per un totale di 600 k€ e di contratti conto-terzi, per un totale di 180 k€.

La probe station acquisita nell'ambito dello sviluppo di elettronica per sensoristica veloce è stata installata poco prima dell'inizio della pandemia. È stata usata dai gruppi che progettano, realizzano e usano elettronica e può essere utilizzata in cooperazione con altre attrezzature come l'analizzatore di reti. Finora, per il poco tempo trascorso dall'installazione e per le problematiche legate al COVID-19, non ha prodotto ancora conto terzi.

Microscopio con eccitazione non lineare e nanoscopio.

Il microscopio Leica TCS CW-STED (SP5), un microscopio ottico confocale dotato di unità con super-risoluzione, è una grande attrezzatura acquistata nel dicembre 2011 dal gruppo di Biospettroscopia del Dipartimento di Fisica con il sostegno di una parte del Dipartimento di Scienze Ambientali, di una parte del Dipartimento di Medicina Traslazionale e di una parte del Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze.

In questi quasi 10 anni, la strumentazione è stata usata con grande intensità (almeno 80% delle ore lavorative) non solo dal gruppo proponente. In particolare citiamo:

- a. altri utenti interni a Bicocca: collaborazioni scientifiche od uso previo accordo (gruppo della prof.ssa Granucci, Prof. Martegani, Prof. Mantecca, Prof. Lecchi, Prof. Prosperi);
- b. commesse esterne (nel 2013-2015, il gruppo del prof. Iannacone, HSR);
- c. collaborazioni esterne nazionali (gruppo della Prof.ssa Raimondi, Polimi; Prof. Pallavicini, UniPv; Prof.ssa Polissi Unimi; Prof. Bettati, UniPr);
- d. collaborazioni esterne internazionali (Dr. Inverso,DFKZ , Heidelberg; Maria Farsari, FORTH).

L'attrezzatura è stata ampiamente sfruttata portando a numerose pubblicazioni scientifiche (circa 30) e a uso conto terzi (circa 18.000 euro). Questo è stato possibile in gran parte grazie all'ottima ingegnerizzazione della macchina e al software di gestione e analisi a cui sono stati abbinati numerosi applicativi sviluppati dal gruppo di ricerca di Biofisica e che sono a disposizione della comunità scientifica e delle applicazioni in conto terzi. La strumentazione è infatti dotata di un tariffario ufficiale. Nel prossimo triennio prevediamo di inserire l'attrezzatura all'interno del centro di Microscopia dell'Ateneo in modo da massimizzare l'utilizzo in conto terzi esterno e intra-Ateneo.

2.1.9 Collaborazioni con enti, imprese, associazioni e loro sviluppo ulteriore

Il Dipartimento svolge la propria attività, in particolare per la ricerca applicata, in stretta collaborazione con enti di ricerca di eccellenza a livello nazionale ed internazionale ma anche con imprese e associazioni attive nei settori della fisica applicata.

CNR - La collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) rappresenta un punto di forza del Dipartimento sia per la ricerca che per la didattica. In particolare, Il gruppo di ricerca in fisica dei plasmi collabora con l'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Plasmi (ISTP) per

le ricerche sulla fusione nucleare; il gruppo di biofotonica ha collaborazioni attive con l'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie (IFN) per la microstrutturazione laser di dispositivi biomedici, con l'Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti (ISASI) per lo sviluppo di Digital Holography di sistemi cellulari e batterici, e con l'Istituto di Nanoscienze (Pisa) per lo studio della plasticità neuronale, mentre il gruppo di fisica medica svolge le sue attività in stretta collaborazione con l'Istituto di Bioimmagini e Fisiologia Molecolare (IBFM), per la messa a punto di metodologie e strumentazione biomedicale, per lo sviluppo di tecniche di quantificazione delle immagini medicali integrate a dati omici, combinate a tecniche computazionali avanzate (biostatistica, intelligenza artificiale e Big Data) finalizzate alla medicina di precisione. Tali collaborazioni favoriscono lo sviluppo di ricerche interdisciplinari, l'accesso a laboratori ed infrastrutture di ricerca non disponibili presso il Dipartimento, facilitano la realizzazione di progetti multi-ente e la partecipazione a reti e consorzi di ricerca nazionali, grazie anche alla distribuzione delle sedi degli istituti del CNR coinvolti nel territorio nazionale, supportano lo svolgimento di attività didattiche presso tali strutture esterne, incluso lo svolgimento di tesi di laurea e dottorati di ricerca, e arricchiscono l'offerta formativa del Dipartimento di contributi didattici di altissimo livello grazie alla partecipazione di docenti ricercatori del CNR alle attività didattiche delle lauree triennali e magistrali del Dipartimento.

Nell'ambito della biofotonica e bio-ingegneria, la collaborazione con CNR è principalmente con il gruppo del Dr. R. Osellame, CNR Milano, per quanto riguarda la microstrutturazione laser di dispositivi per la ricerca biomedica e con il gruppo del Dr. Ferraro dell'istituto ISASI del CNR di Pozzuoli per quanto riguarda Digital Holography di sistemi cellulari e batterici. Per il prossimo triennio verrà ampliata la collaborazione con l'istituto di ottica del CNR a Padova (Dr. S. Bonora).

INFN - La collaborazione con l'INFN si sviluppa su un ampio ventaglio di attività che spaziano dalla ricerca all'alta formazione. L'INFN sostiene la ricerca del Dipartimento attraverso circa 30 incarichi di ricerca scientifici e tecnologici e decine di Associati tra il personale del Dipartimento (compresi dottorandi e studenti in tesi di Laurea magistrale), per collaborazioni nei settori della Fisica particellare e astroparticellare, incluse le onde gravitazionali, la Fisica teorica, le applicazioni alla Medicina, le applicazioni ai Beni culturali (attraverso la rete CHNET) e gli sviluppi di nuove tecnologie. Attraverso l'INFN il personale del Dipartimento partecipa a progetti di ricerca presso grandi laboratori internazionali, quali il CERN, FNAL, DESY, e ad attività di ricerca di grande rilevanza internazionale, quale JUNO in Cina. Personale del Dipartimento svolge anche attività presso i Laboratori Nazionali dell'INFN (LNL, LNF, LNGS, LNS), in particolare presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, di cui è Direttore per il prossimo quadriennio il Prof. Ezio Previtati. Personale del Dipartimento partecipa anche a studi e progetti preliminari in prospettiva della realizzazione dell'Einstein Telescope. Infine stanno acquistando grande rilievo le attività sviluppate presso il Laboratorio di Criogenia per le tecnologie quantistiche, soprattutto per il Quantum Computing. I finanziamenti INFN alle attività di ricerca del personale del Dipartimento ammontano a circa 1.2 M€ per anno. L'INFN, attraverso la Convenzione con l'Ateneo, sostiene con un finanziamento specifico le attività del laboratorio di Criogenia. L'INFN contribuisce al Dottorato di Ricerca con il finanziamento di tre borse triennali non vincolate per anno (9 borse attive ogni anno). Il personale di ricerca INFN contribuisce alla didattica corsi di laurea triennale e magistrale, con circa 5 docenti a contratto per anno, offre inoltre numerose opportunità per tesi di Laurea magistrale e di Dottorato per le quali partecipa alla supervisione. L'INFN ha cofinanziato nel passato triennio 5 RTDA e 2 PO. Sono inoltre da segnalare: il progetto Pignoletto finanziato da Regione Lombardia che si occupa di temi interdisciplinari e interdipartimentali; e le infrastrutture di supporto alla ricerca (centro di calcolo, officina meccanica, servizio di elettronica) gestite da INFN.

INAF - Il gruppo di Astrofisica ha continui rapporti di collaborazione scientifica con l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), soprattutto con le sedi dell'area milanese. Inoltre diversi ricercatori dell'Osservatorio Astronomico hanno avuto, in passato, la responsabilità di insegnamenti del corso di laurea magistrale in Astrofisica e Fisica Spaziale e tuttora accolgono laureandi, offrendo loro argomenti per la tesi. Questa collaborazione continuerà negli anni futuri e sarà l'occasione per sviluppare nuovi progetti in comune. Gli sviluppi nell'ambito della ricerca riguardano tutti i programmi di ricerca che vedono già coinvolti i docenti del gruppo di Astrofisica in collaborazione con l'INAF. Programmi in comune riguardano sia la cosmologia (LSPE-STRIP), sia l'astrofisica osservativa e teorica.

Programma Nazionale per le Ricerche in Antartide (PNRA) - Il Dipartimento di Fisica è attivo in Antartide fin dalle prime spedizioni, impegnato in osservazioni della CMB a lunghezze d'onda millimetriche. Nel prossimo triennio l'impegno maggiore riguarderà il programma COSMO per la ricerca di distorsioni nella distribuzione spettrale, che ci raccontano i processi radiativi e le interazione plasma-radiazione avvenuti nell'universo primordiale.

ASI - La collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) si è concretizzata in diversi programmi spaziali, oggetto di contratti specifici. Nell'ambito della cosmologia con il programma LSPE-STRIP, in corso da diversi anni, e con la nuova missione LiteBird, che coinvolge anche l'agenzia giapponese JAXA. Nell'ambito delle tecnologie alle microonde, in relazione allo sviluppo di nuovi rivelatori *space qualified*. Nell'ambito dei raggi cosmici e dell'astrofisica delle alte energie, con lo spettrometro AMS-02 sulla Stazione Spaziale Internazionale. Nell'ambito delle onde gravitazionali, con il programma LISA, missione spaziale *cornerstone* dell'ESA. Il programma americano BLAST-TNG è stato portato avanti in collaborazione con la NASA e potrebbe in futuro vedere il coinvolgimento diretto dell'ASI.

Nell'immediato futuro si intende rafforzare la collaborazione con l'ASI e le altre agenzie spaziali attraverso i programmi scientifici già in corso e con ulteriori progetti anche coinvolgendo aziende del settore aerospaziale. Recentemente l'Ateneo ha stipulato un accordo quadro con l'ASI, propedeutico a futuri accordi su programmi specifici. Il primo di questi riguarda il programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities) dell'ASI, con la prospettiva di creare, all'interno del Dipartimento di Fisica, un centro per lo *space radiation environment*. Questo programma segue una serie di contratti e convenzioni tra il Dipartimento di Fisica e l'ESA nell'ambito dello studio delle radiazioni energetiche e del loro impatto nel funzionamento dei dispositivi usati nello spazio.

FBK - Il Dipartimento di Fisica collabora con la Fondazione Bruno Kessler (FBK) da molti anni, in ambito di attività di R&S su sensori a semiconduttori. A partire da Giugno 2020 è attiva una convenzione di ricerca Unimib-INFN dal valore di 140 k€ dedicata all'ottimizzazione di rivelatori di luce criogenici per rendere il prodotto scalabile su grandi quantità ($3 \cdot 10^5$ sensori) e, dunque, disponibile per l'esperimento DUNE.

STFC - La collaborazione tra il Science and Technology Facilities Council del Regno Unito è rivolta soprattutto alla realizzazione di esperimenti e strumentazione per la sorgente di neutroni ISIS presso il Rutherford Appleton Laboratory. Le attività riguardano in prevalenza la linea di fascio ChipIr, sviluppata per esperimenti sul danneggiamento di dispositivi elettronici esposti a flussi di neutroni con uno spettro energetico simile a quello atmosferico. In vista della realizzazione presso ISIS di una sorgente di neutroni a 14 MeV di interesse per la fusione termonucleare, e con caratteristiche molto simili a quella che sarà ospitata nel laboratorio SOURIRE dell'Ateneo, è inoltre in corso lo sviluppo di strumentazione di comune utilità.

ESS - La collaborazione con la European Spallation Source (ESS) riguarda la progettazione e sviluppo di strumenti per le linee di fascio in via di realizzazione, sulla base dell'esperienza acquisita con le attività svolte presso il Rutherford Appleton Laboratory, in particolare nella realizzazione di monitor di fasci di neutroni ad elevata capacità di conteggio.

Eurofusion - Il Dipartimento partecipa alla ricerca sulla fusione termonucleare del consorzio Eurofusion come terza parte dell'ente ENEA. Le attività riguardano la realizzazione di esperimenti e diagnostiche nucleari presso i principali tokamak europei, tra cui il Joint European Torus (Regno Unito), ASDEX Upgrade (Germania) e TCV (Svizzera), e specifici contributi nel quadro della "Road Map" per la realizzazione dell'energia da fusione elaborata in ambito europeo.

DTT - La scrl DTT è stata costituita per la realizzazione del Divertor Tokamak Test, un progetto internazionale sulla fusione termonucleare in fase di costruzione presso i laboratori di ENEA, sede di Frascati, e che è previsto entrare in funzione attorno al 2025 ed operare per circa 30 anni. La società annovera tra i partner fondatori ENEA, Eni ed il consorzio CREATE. In occasione dell'ingresso di nuove università ed enti di ricerca italiani con attività sulla fusione termonucleare tra i partner della società, anche il Dipartimento sta ultimando la sua adesione alla stessa.

ENEA - La collaborazione con ENEA, il più grande ente di ricerca italiano attualmente attivo sulla fusione termonucleare, avviene già nell'ambito delle attività del consorzio Eurofusion, per il finanziamento delle quali il Dipartimento è terza parte di ENEA. In vista di una più stretta collaborazione, soprattutto per le attività legate al Divertor Tokamak Test, è in corso di stipula un accordo di collaborazione diretta.

ITER - Nel corso del 2019 è stato stipulato un "Memorandum of Understanding" tra l'Università di Milano-Bicocca ed ITER, il più grande progetto mondiale per la realizzazione di un reattore sperimentale per la dimostrazione della fattibilità scientifica della fusione termonucleare. Il Memorandum riguarda attualmente la progettazione di sistemi di misura nucleare per la diagnostica ed il controllo del plasma e lo scambio di personale e studenti per periodi di ricerca.

Imprese - Il Dipartimento ha avviato attività di collaborazione e conto-terzi con industrie sia italiane che straniere, alcune delle quali proseguiranno anche nel triennio entrante.

Il Gruppo di Particelle opera all'interno di una convenzione con l'INFN (dal valore di k€140) per lo sviluppo di un nuovo tipo di sensori criogenici ("triple trench") per operare a temperature fino a 77K con un basso rumore. Tale attività ottimizza il die, il bonding e il packaging per utilizzarlo nell'esperimento DUNE. Dal 2020, è attiva nell'ambito dell'esperimento DUNE la collaborazione con Glass-to-Power (spin-off del Dipartimento di Scienze dei Materiali) per la realizzazione di guide di luce a spostamento d'onda per temperature criogeniche basate su un bulk di PMMA e un'elevata concentrazione di dyes con un aumento di circa il 40% dell'efficienza di raccolta della luce del Photo Detection System di DUNE, che altrimenti usa prodotti commerciali ELJEN.

Il Gruppo Radio ha condotto con la grande attrezzatura "Analizzatore di Reti Vettoriale" alcune attività per industrie aerospaziali e società di ingegneria attive nella progettazione di sistemi antenna. Con la ditta Ingegneria Dei Sistemi (per k€4) è stato caratterizzato un sistema di antenne planari per un radar automotive nella banda 70-80 GHz. Con la ditta OHB Italia sono stati caratterizzati due campioni di assorbitori per microonde nei test di "Life Time" in azoto liquido (per k€9) e dei target di calibrazione a terra del radiometro MWI a bordo del satellite METOP dell'ESA a temperatura ambiente e a temperature criogeniche (per k€180). Questa attività proseguire negli anni futuri.

Il gruppo di Biofotonica collabora con MOAB Research per il progetto di un sistema di incubazione di organoidi che è parte fondamentale per lo sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale per la terapia personalizzata di tumori. Con la stessa ditta, il gruppo ha in corso un progetto di industrializzazione di un incubatore di embrioni di volatili, finalizzato allo sviluppo di vaccini (k€5, subcontract di Polimi) . Con la ditta "Gemma prototipi", il gruppo sta sviluppando stampe di inchiostri contenenti nanoparticelle con effetto fototermico su superfici plastiche, per l'ingegnerizzazione del trattamento termico di cellule. Questo progetto è alla base di attività brevettuali che il gruppo ha in comune con il Dipartimento BTBS (finanziamento k€25, fondazione U4i). E' inoltre attivo un contratto di ricerca (progetto NanoFunPack) con la ditta NOFIMA (Tromsø, NO), per lo sviluppo di sistemi smart per il packaging di alimenti e il riciclaggio dei contenitori in plastica (per k€14).

Il Gruppo di Microelettronica opera all'interno di collaborazioni industriali con Infineon (Italia e Austria, per k€750), Melexis (Germania, per k€165) e STMicroelectronics (Francia, per k€26). Le attività riguardano lo sviluppo di circuiti integrati per applicazioni specifiche. Con Infineon vengono sviluppati circuiti per convertitori DC-DC, per interfaccia di sensori (principalmente microfoni) e circuiti per LIDAR. Con Melexis è in fase di sviluppo un sistema di comunicazione sulle linee di alimentazione negli autoveicoli e con STMicroelectronics un convertitore Sigma-Delta CT a bassa sensibilità al Jitter del Clock. Queste collaborazioni sono all'interno di contratti che proseguiranno anche nei prossimi anni, dando continuità alla collaborazione ed all'attività di ricerca.

Infine diversi gruppi (Particelle, Microelettronica) collaborano al Progetto Regionale Hub 'Pignoletto' per lo sviluppo di sistemi di analisi di precisione del suolo e dell'ambiente da installare su dispositivi a pilotaggio remoto, come droni, satelliti per monitorare e studiare il territorio con l'approccio innovativo dell'agricoltura di precisione. Il progetto si svolge all'interno di un consorzio costituito, per il mondo della ricerca, da Università Milano Bicocca (Dipartimenti di Fisica, BioTecnologie e BioScienze, Scienze dell'ambiente e della Terra, Informatica Sistemistica e Comunicazione), INFN e INAF e per l'ambito industriale da sei aziende lombarde: Nuclear Instruments, Else Nuclear, Fem2Ambiente, Aermatica 3D, Blu Electronic e Redcat Devices.

Sono emanazioni del Dipartimento di Fisica il Centro di Eccellenza PlasmaPrometeo e lo spin-off PLUME. Il Centro di Eccellenza PlasmaPrometeo è attivo nel coordinamento delle attività di ricerca e sviluppo nel campo dei plasmi in rete con enti esterni di ricerca pubblici e privati in ambito nazionale e internazionale, sostenere le attività con finanziamenti derivanti da bandi competitivi e da privati, svolgere attività di formazione e divulgazione delle tecnologie a plasma nel territorio. Lo spin-off PLUME è attivo nel trasferimento di tecnologie brevettate e sviluppate nel Dipartimento di Fisica principalmente alle aziende del manifatturiero con riferimento al tessile per le proprietà innovative funzionali e i processi a basso impatto per l'ambiente. Nel periodo 2017-2020 ha avuto commesse conto-terzi con Solvay Solexis, Pirelli, Leda, Zegna-Baruffa, Fondazione Privata Bellobono (per un totale di k€123).

2.1.10 Collaborazioni inter-dipartimentali

Estrazione di biomarcatori di imaging per la teranostica in vivo - Dipartimento di Medicina: le metodologie computazionali di elaborazione ed integrazione di big data omici e immagini mediche misurabili in modo minimamente invasivo ed in vivo rappresentano un settore di crescente interesse in Medicina per l'impatto nella diagnostica e terapia (teranostica) di precisione di numerose malattie multifattoriali complesse quali cancro, e malattie neurodegenerative. Il Dipartimento di Fisica ha attivato negli anni passati alcune collaborazioni su questi temi con il Dipartimento di Medicina e Chirurgia (Prof. ssa Cristina Messa, Prof. ssa, Maria Carla Gilardi, Prof. Ssa Valsecchi), collaborazioni che valorizzerà ulteriormente nel

triennio grazie al gruppo di fisica medica. In particolare verranno messe a punto tecniche di quantificazione basate su image analytics per la selezione di predittori del fenotipo da immagini mediche nello spettro del non visibile quali CT, PET-CT ed MRI, e tecniche di network medicine per la selezione di biomarcatori omici quali microRNA, misurabili in urine e sangue. Le signature predittive di malattia verranno testate come classificatori dei fenotipi per la teranostica e validate in studi clinici sull'uomo in collaborazione con Ospedali e IRCCS di eccellenza nella ricerca clinica a livello nazionale ed internazionale.

Sviluppo di Materiali Scintillanti - Dipartimento di Scienza dei Materiali: in questo campo la sinergia tra i due Dipartimenti è sempre stata intensa e riguarda nello specifico lo sviluppo di nuovi materiali scintillanti o l'ottimizzazione dei processi di drogaggio per migliorare le caratteristiche di scintillazione, adattandole a esigenze specifiche esigenze. Le applicazioni spaziano dalla Fisica Medica alla Fisica delle Particelle, spesso con attività sono strutturate all'interno di importanti collaborazioni internazionali e documentate da una consistente produzione scientifica.

Tecnologie Quantistiche - Dipartimenti di Scienza dei Materiali e Informatica: le Tecnologie Quantistiche sono un settore di ricerca e innovazione con un impatto potenziale unico. Nei prossimi anni si assisterà ad una rivoluzione, derivante dalla gestione e sfruttamento di fenomeni quantistici per computer, sensori e materiali innovativi. Nell'ambito dell'iniziativa interdipartimentale di QT che sta nascendo tra i Dipartimenti di Fisica, Scienze dei Materiali e Informatica, si propone di creare, oltre che un'infrastruttura di ricerca coordinata, anche un progetto di sviluppo della formazione nel campo delle QT. Il progetto si sviluppa dapprima con la creazione di un percorso di QT all'interno della laurea magistrale in Fisica, coordinato con percorsi analoghi creati nei corsi di laurea di Scienze dei Materiali e Informatica. Il progetto ha tutte le caratteristiche per poter confluire in una laurea magistrale interAteneo (con Pavia e Milano) in Quantum Technologies e Artificial Intelligence la cui istituzione è prevista nei prossimi anni.

Studio della radioattività glaciale e delle proprietà chimiche del ghiaccio - Dipartimento di Scienze Ambientali: l'applicazione alla glaciologia di tecniche "radiometriche" a basso fondo tipiche della fisica degli eventi rari (Low-Background Instrumental Neutron Activation, Low Background Gamma Spectroscopy and Low Background Liquid scintillation) ha permesso di implementare metodi non distruttivi ad altissima sensibilità per la caratterizzazione geochimica del particolato atmosferico presente nei ghiacci polari e non-polari e per lo studio della radioattività ambientale nei contesti glaciali. Relativamente a quest'ultima tematica dall'elevato potenziale di sviluppo, si sottolinea che in pochi anni il laboratorio EUROCOLD e quello di Radioattività del Dipartimento di Fisica, sono diventati un punto di riferimento. La radioattività glaciale si sta rivelando un importante strumento non soltanto per la datazione del ghiaccio, ma anche per la comprensione del comportamento dei ghiacciai e ai fini dello studio dell'impatto delle attività umane sulla criosfera. Analizzando la criosfera glaciale, i laboratori proponenti hanno rilevato livelli di radioattività artificiale anomali, derivanti da incidenti nucleari (Chernobyl) ed esplosioni nucleari come quella della "Bomba Zar" del 1961, il più potente ordigno termonucleare mai testato. Queste ricerche mostrano la capacità dei ghiacciai di trattenere ed accumulare gli inquinanti radioattivi.

MAP-Microbial Abatement of by Plasma devices

Il progetto coinvolge i Dipartimenti di Fisica e di Medicina e Chirurgia e il Dipartimento di Microbiologia dell'Università di Milano e intende sviluppare dispositivi basati su plasma atmosferico destinati alla riduzione del carico microbico indoor. Le attività si sviluppano in un quadro multidisciplinare: medicina, biologia e fisica, finalizzate alla progettazione e alla fabbricazione del dispositivo che sarà testato nel laboratorio BLS-2. Tali dispositivi avranno un

ruolo di primo piano e anche preventivo nell'immediato periodo post emergenza, con la riapertura di università, scuole, uffici, ecc., poiché sono previsti per operare in "modalità continua" di sanificazione alla presenza di studenti e lavoratori per ottenere una maggiore sicurezza ambientale.

IN2SIGHT, una piattaforma di sviluppo per biomateriali e tissue engineering. Il gruppo di biofisica e biofotonica svilupperà, in collaborazione con il gruppo di immunologia (prof. F. Granucci, dip. di BTBS) e con il gruppo di neurologia sperimentale (prof. G. Cavaletti, dip. di Medicina e Chirurgia) una piattaforma micro-strutturata per il test di impianti di biomateriali in animali modello (topi, ratti conigli). La piattaforma sarà basata su un biomaterial-holder microstrutturato impiantato in-vivo e che permetterà la caratterizzazione della reazione immunitaria agli impianti per tempi di settimane senza la necessità di sacrificio degli animali. La piattaforma deve essere installata in una camera grigia dello stabulario dell'Ateneo (in U3 o in U28) e sarà basata su microscopia con eccitazione non-lineare. Le applicazioni sono nell'ambito della validazione di biomateriali e della ricerca e sviluppo farmacologica.

Imaging termico ad alta risoluzione. Il gruppo di biofisica e biofotonica del Dipartimento ha sviluppato in questi anni metodologie in grado di fare sensing di caratteristiche strutturali di materiali basati sulla rivelazione di emissione termica (9-12 micrometri) indotta da eccitazione laser focalizzata. Il gruppo estenderà queste tecnologie alla mappatura della micro-composizione di materiali e della conducibilità termica degli stessi con impatto rilevante nell'ambito della Scienza dei Materiali e della Fisica per i Beni Culturali (in collaborazione con il gruppo di Fisica dei Plasmi, prof. G. Gorini e Dr.ssa Daniela Di Martino). Applicazioni della stessa tecnica sono anche in corso per lo studio della diffusione di melanomi nella cute di animali modello (collaborazione con il gruppo di immunologia del Dip. BTBS, prof. F. Granucci).

Artificial Intelligence per l'analisi di immagini. Il gruppo di Biofisica e Biofotonica del Dipartimento sta sviluppando metodologie basate su AI per l'analisi istologica (Digital Pathology) e il remote sensing dell'ambiente.

Collaborazione con il Dip. BTBS. Nel campo della Digital Pathology sono stati sviluppati algoritmi che sfruttano tecniche di intelligenza artificiale/machine learning supervisionato e non supervisionato al fine di riconoscere, classificare e quantificare in maniera automatica strutture di interesse biologico in sezioni istologiche (collaborazione con il gruppo della Prof. F. Granucci, Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze). Le immagini vengono acquisite non solo mediante metodi standard, in cui le colorazioni delle sezioni sono ottenute con tecniche di immunoistochimica e immunofluorescenza, ma anche tramite microscopia ottica con eccitazione non lineare, dove vengono sfruttati la fluorescenza e il segnale (ad esempio di seconda armonica) generato da proteine e molecole endogene. Vengono quindi creati algoritmi che siano in grado di estrarre informazioni complementari e quantitative dalle immagini per poi combinarle in maniera ottimizzata in mappe iper-parametriche, in cui le caratteristiche morfologiche, funzionali e strutturali sono sfruttate simultaneamente al fine di supportare il ricercatore nella formulazione e verifica di un'ipotesi o il medico in fase di diagnosi.

Collaborazione con il Dip. di Scienze dell'Ambiente e della Terra (DSAT). Gli algoritmi elaborati vengono anche applicati all'analisi di segnali iper-spetttrali relativi alla vegetazione, in collaborazione con il DSAT. In particolare è stato sviluppato un metodo, che accoppia tecniche di machine learning supervisionato all'analisi del segnale tramite trasformata di Fourier discreta, in grado di estrarre dallo spettro di riflettanza parametri biofisici fondamentali per la descrizione dello stato della vegetazione, quali la resa quantica di fluorescenza della clorofilla, l'indice di area fogliare, il contenuto di clorofilla nelle foglie e gli spettri di fluorescenza a livello

extrafogliare e del cloroplasto. Il metodo sarà esteso all'analisi di immagini iper-spetttrali, acquisite sia tramite sensori a diverse altezze dal suolo oppure tramite droni, aerei e satelliti (collaborazione con il Prof. R. Colombo e il Dott. S.Cogliati, DSAT).

Indice delle Azioni previste nel triennio:

- **Astrofisica e Cosmologia (2.1-2.7)**
- **Biofotonica e Biofisica (2.8-2.13)**
- **Elettronica (2.14-2.19)**
- **Fisica Applicata (Medicina, Ambiente, Beni Culturali) (2.20-2.24)**
- **Fisica dei Plasmi (2.25-2.31)**
- **Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali (2.32-2.44)**
- **Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali (2.45-2.48)**
- **Ricerche intradipartimentali (2.49-2.50)**

Astrofisica e Cosmologia

Azione 2.1 - Cosmologia sperimentale e Radiazione Cosmica a Microonde

Obiettivo specifico: misure di cosmologia, scienza galattica e formazione stellare attraverso esperimenti in orbita, suborbitali e terrestri.

Descrizione: il nostro gruppo studia la radiazione cosmica di fondo (CMB), cioè la luce fossile residua del Big Bang, e i segnali astrofisici più recenti che la contaminano, attraverso i telescopi in banda millimetrica e submillimetrica di cui realizziamo strumentazione ottica ed elettronica, come LiteBird, Simons Observatory, LSPE-Strip, QUBIC, COSMO, e BLAST. La componente polarizzata della radiazione raccolta ci consente di comprendere la storia evolutiva del nostro universo. Si tratta di segnali debolissimi per i quali sono necessari strumenti all'avanguardia, telescopi e rivelatori che offrono il massimo della sensibilità e dell'accuratezza. Le mappe polarizzate della CMB così costruite possono rivelare la presenza di onde gravitazionali nell'universo primordiale, una delle fondamentali predizioni della teoria dell'inflazione cosmica, oltre a determinare un vasto insieme di parametri cosmologici che descrivono il comportamento del cosmo, e di porre limiti sulla massa dei neutrini attraverso il lensing gravitazionale della CMB stessa. Inoltre misure mai effettuate prima dell'emissione polarizzata diffusa dalla nostra galassia ci permetteranno sia di rendere più accurate le mappe dell'universo primordiale, sia di caratterizzare le proprietà del mezzo interstellare, sia di comprendere il ruolo del campo magnetico nei processi di formazione stellare all'interno delle nubi molecolari fredde.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: pubblicazioni su riviste specialistiche internazionali ad alto impact factor; presentazioni a conferenze; attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca; ottenimento di borse di ricerca europee (Marie-Curie); attività di terza missione, come sviluppo e caratterizzazione di tecnologia radio e microonde in collaborazione con partner industriali, e di divulgazione, come interventi, seminari, o produzione di materiale presso scuole, spazi pubblici e stampa generalista.

Azione 2.2 - Osservazioni di Raggi Cosmici dallo spazio

Obiettivo specifico: studio delle componenti cosmiche ad energie fino a 2 TeV con lo spettrometro AMS sulla Stazione Spaziale Internazionale.

Descrizione: lo spettrometro AMS è stato progettato per studiare con grande accuratezza le particelle che arrivano dal cosmo con energie fino a 2 TeV. AMS è stato installato sulla Stazione Spaziale Internazionale nel Maggio 2011 e tra dicembre 2019 e gennaio 2020 è stato riparato il sistema di controllo termico attraverso una serie di 4 attività extra-veicolari (EVA). Dall'inizio della presa dati AMS ha misurato con estrema precisione lo spettro di diversi ioni e particelle cosmiche, trovando dei comportamenti inattesi. Il gruppo di Milano-Bicocca è tra i più impegnati nell'analisi dei dati e sta contribuendo in modo determinante su diversi fronti, in particolare allo studio dell'andamento col tempo della componente a più bassa energia e agli effetti indotti dalla magnetosfera terrestre e dalla modulazione solare. L'aumento della statistica permetterà di estendere le misure a energia più alta e analizzare le componenti meno abbondanti. I principali argomenti di indagine sono: l'origine dell'eccesso di positroni; la ricerca di segnali di materia oscura dallo spettro di positroni e antiprotoni e dallo studio dell'anisotropia; lo studio delle componenti cosmiche ad alta energia; lo studio degli effetti di attività solare e modulazione dei raggi cosmici.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.3 - Studio della co-evoluzione di galassie e strutture cosmiche

Obiettivo specifico: studiare la formazione ed evoluzione di galassie nell'universo vicino e lontano in relazione alla loro appartenenza a strutture cosmiche (ad esempio filamenti cosmici, gruppi, e ammassi).

Descrizione: i processi che portano alla formazione ed evoluzione di galassie sono fortemente legati all'ambiente in cui operano. Pertanto, diventa fondamentale studiare questi processi in funzione delle strutture cosmiche all'interno delle quali si trovano le galassie. Il nostro gruppo ospita due ERC (Starting Grant 2017; Consolidator Grant 2019) e due grant di Fondazione Cariplo per avanzare la nostra conoscenza della co-evoluzione di galassie e strutture cosmiche sia dal punto di vista osservativo che teorico. A partire dall'autunno 2021, si unirà al gruppo anche un nuovo RTD-B assegnato al progetto di Ateneo "Nuove campagne di astrofisica osservativa per mappare la struttura dell'universo e la formazione di galassie durante le prime epoche cosmiche e per portare didattica innovativa nelle STEM in università e scuole". Come attività di ricerca, il nostro gruppo coordina osservazioni ultra-profonde sia all'interno del consorzio internazionale MUSE GTO che come principal investigator di due large programme sul telescopio spaziale Hubble e al Very Large Telescope per lo studio della distribuzione del gas all'interno di filamenti cosmici e attorno alle galassie in formazione nell'universo giovane. Sfruttando questi dati innovativi, il nostro gruppo si propone uno studio dettagliato dei processi chiave che regolano l'evoluzione delle galassie (inflows e outflows), l'interazione delle galassie con il gas presente nell'universo (intergalactic/circumgalactic medium), e l'evoluzione in gruppi o ammassi di galassie. La mappatura della distribuzione di gas all'interno delle strutture cosmiche fornisce anche importanti vincoli osservativi sulla distribuzione di materia oscura all'interno del nostro universo, e il nostro gruppo è particolarmente attivo nello sviluppare questa nuova tecnica osservativa. In parallelo alle attività osservative, il nostro gruppo sviluppa modelli ed in particolare simulazioni in ambito cosmologico con particolare attenzione ai processi idrodinamici e all'interazione radiazione-materia per offrire gli strumenti teorici necessari all'interpretazione dei risultati ottenuti dalle nostre campagne osservative.

Cronologia: azione in corso, in continuazione nel triennio. È prevista anche una fase di trasferimento dei risultati ottenuti su scala delle galassie a scale più piccole (regioni centrali dove si formano e accrescono i buchi neri) per collaborare con il gruppo di astrofisica teorica alla caratterizzazione dell'ambiente in cui le sorgenti di onde gravitazionali evolvono.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.4 - Nuove finestre osservative sulla struttura dell'universo

Obiettivo specifico: sfruttare la nuova generazione di large surveys e di nuovi osservatori per ottenere una nuova visione statistica e pancromatica delle strutture cosmiche presenti nel nostro universo.

Descrizione: con l'inizio di una nuova generazione di large surveys, saranno a breve disponibili data spettroscopici di circa un milione di quasar con cui sarà possibile mappare la struttura dell'universo, ed in particolare la distribuzione e le proprietà dei filamenti cosmici che connettono le galassie in formazione. Il nostro gruppo riveste il ruolo di coordinatore dell'analisi degli spettri di quasar nella WEAVE survey al William Herschel Telescope, survey che inizierà ad acquisire dati a partire dal 2021. Il nostro gruppo si occuperà di caratterizzare

e identificare le segnature spettrali attribuibili al gas contenuto nei filamenti cosmici e intorno alle galassie in formazione nell'universo giovane, usando tecniche avanzate di analisi dei dati in sviluppo nel nostro gruppo. Con questi dati, nel triennio, saremo in grado di ricostruire una mappa statistica della distribuzione del gas diffuso attorno alle galassie circa 10 miliardi di anni fa, durante una delle epoche più importanti per la formazione di galassie, fornendo quindi nuovi dati osservativi essenziali per caratterizzare il modello di evoluzione di galassie nel nostro universo. Le tecniche sviluppate come partner principale di questa survey verranno poi applicate a dati pubblici provenienti da altre survey analoghe in corso di svolgimento (DESI) e in programma per il prossimo quinquennio (4MOST, MSE). In parallelo, sfruttando il significativo track-record del nostro gruppo nello sviluppare e dirigere programmi come principal investigator ai più grandi osservatori internazionali, ci prefiggiamo l'obiettivo di accrescere programmi osservativi multifrequenza che sfruttano appieno la possibilità di studiare le proprietà fisiche dei filamenti cosmici anche in connessione alle galassie che ospitano, proprietà che ad oggi non sono poco note. In particolare, intendiamo sfruttare appieno le nuove opportunità offerte dal James Webb Space Telescope che offrirà a partire dal 2021 una gamma di strumenti innovativi per lo studio del gas cosmico nell'infrarosso. Intendiamo anche estendere queste osservazioni nel radio e millimetrico, usando in particolare l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array per completare la nostra visione della distribuzione di gas freddo in queste strutture. Combinando la visione statistica della distribuzione dei filamenti cosmici con una nuova comprensione delle loro proprietà fisiche, otterremo nuovi vincoli fondamentali sul corrente modello di formazione e evoluzione delle strutture cosmiche nell'universo.

Cronologia: avvalendosi del ruolo di nodo coordinatore dello studio di filamenti cosmici nella survey WEAVE e dell'esperienza pluriennale nella gestione e direzione di campagne osservative ai più grandi osservatori internazionali, il gruppo si prefigge durante il triennio l'obiettivo di accrescere e cementare il ruolo di leadership nell'analisi di big data provenienti da grandi surveys e nello sviluppo di nuove campagne osservative a multifrequenza per lo studio delle strutture cosmiche. L'arrivo di un nuovo RTD-B su progetto di Ateneo contribuirà a potenziare e accelerare l'impatto di questa attività di ricerca.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.5 - Universo Gravitazionale: Sorgenti stellari di alta frequenza

Obiettivo specifico: caratterizzazione delle sorgenti di onde gravitazionali ad alta frequenza - studio delle controparti elettromagnetiche e dei loro orizzonti di osservabilità -- sviluppo di codici numerici per la simulazione di coalescenze di oggetti compatti -- caratterizzazione delle popolazioni di binari compatte e studio della loro evoluzione nelle diverse epoche cosmiche.

Descrizione: il gruppo di astrofisica teorica è recentemente entrato a far parte della collaborazione LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) che ha portato alla scoperta di onde gravitazionali di alta frequenza (10Hz - 1000Hz) provenienti dalla coalescenza di stelle di neutroni e buchi neri di origine stellare. Il gruppo ha il suo punto di forza nella modellizzazione teorica di queste sorgenti e nell'interpretazione delle possibili controparti elettromagnetiche. Ci proponiamo di condurre simulazioni di frontiera in Relatività Generale per stelle di neutroni in coalescenza, includendo la fisica del neutrino nella dinamica degli ejecta al fine di fornire indicazioni più precise sulle proprietà dell'emissione elettromagnetica a multi-frequenze. Tali simulazioni permetteranno la creazione di un database per binarie di stelle di neutroni che contenga informazioni congiunte sul segnale gravitazionale ed elettromagnetico. Continueremo lo studio sulla caratterizzazione delle "firme" elettromagnetiche di binarie di buchi neri con stelle di neutroni per stabilire gli orizzonti sia gravitazionali che elettromagnetici associati ad eventi

osservabili nel run osservativo O4 previsto entro questo triennio e con l'interferometro europeo Einstein Telescope (ET) di terza generazione in fase di progettazione. ET permetterà l'osservazione di queste sorgenti a redshift cosmologici rivelando decine di migliaia di sorgenti all'anno rendendo così possibile condurre studi statistici di popolazione che verranno condotti con tecniche di intelligenza artificiale. L'aumento di sensibilità previsto per ET impone lo sviluppo di template di forme d'onda sempre più accurate e di tecniche avanzate per l'inferenza dei parametri fisici delle sorgenti raggiungibili grazie all'aumento dell'accuratezza dei segnali estraibili da simulazioni numeriche sempre più avanzate. Il gruppo sta per acquisire una nuova posizione di professore associato vincitore di un ERC starting grant su "Gravitational wave data mining" che si inserisce nell'ambito dell'esperimento ET.

Cronologia: ci poniamo l'obiettivo di mantenere attivo il nostro ruolo in LVK and in GWIC (GRavitational Wave International Committee), l'organo di riferimento per la definizione degli obiettivi scientifici degli interferometri di terza generazione come ET e di stabilire possibili sinergie con la missione spaziale dell'ESA, LISA.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca

Azione 2.6 - Universo Gravitazionale: buchi neri massicci in coalescenza e loro fondo stocastico

Obiettivo specifico: studio e caratterizzazione delle sorgenti LISA sia dal punto di vista astrofisico che di rivelazione con attenzione agli effetti di calibrazione sulla stima dei parametri delle sorgenti -- studio del segnale da recenti misure di pulsar timing per la rivelazione di un fondo stocastico di onde gravitazionali da buchi neri supermassicci -- simulazioni numeriche in ambito cosmologico all'interno di modelli di formazione di buchi neri massicci binari e stime dei tassi di coalescenza -- studio delle controparti elettromagnetiche delle sorgenti LISA/EPTA in sinergia con telescopi da terra e dallo spazio.

Descrizione: Il gruppo di astrofisica teorica ha raggiunto negli anni un ruolo di leadership all'interno della nascente astrofisica delle onde gravitazionali a basse frequenze (dal nano-Hz al mHz). Vanta un ruolo di coordinamento all'interno della collaborazione europea European Pulsar Timing Array (EPTA) e mondiale IPTA, che mira alla rivelazione di onde gravitazionali a bassa frequenza attraverso tecniche di "timing" di segnali provenienti da una array di radio-pulsar al fine di rivelare per la prima volta un fondo stocastico di onde gravitazionali emesso da buchi neri supermassicci. Il gruppo partecipa inoltre alla caratterizzazione scientifica di sorgenti rilevabili con LISA (Laser Interferometer Space Antenna) missione spaziale cardine dell'agenzia spaziale europea ESA, sensibile a radiazioni gravitazionali centrate attorno al mHz. In questo ambito il gruppo ha assunto ruoli di leadership all'interno del Consortium Board, dell'ESA LISA Science Team e di WorkPackages dedicati in previsione della "adozione" della missione programmata per fine 2024. Il gruppo continuerà i suoi studi nell'ambito della formazione ed evoluzione dinamica di buchi neri binari in galassie in collisione conducendo simulazioni cosmologiche ad alta risoluzione sia di interesse per LISA che per EPTA. Con simulazioni numeriche in Relatività Generale studierà la fluidodinamica di gas magnetizzato attorno a buchi neri in coalescenza per la ricerca di 'firmÈ elettromagnetiche che rendano gli eventi di coalescenza distinguibili dall'emissione variabile di Nuclei Galattici Attivi.

Cronologia: Il gruppo intende nei prossimi tre anni capitalizzare le competenze sviluppate, consolidando la ricerca sulle quattro linee sopra delineate al fine di mantenere la sua leadership in LISA e EPTA (IPTA). Si desidera stabilire un rapporto costruttivo di sinergia con il gruppo di astrofisica delle strutture cosmiche. Grazie alle competenze complementari rispetto al nostro gruppo di astrofisica gravitazionale, il gruppo di astrofisica delle strutture cosmiche si presenta come naturale partner nella ricerca sulla caratterizzazione delle galassie ospite di eventi

gravitazionali e su stime sempre più realistiche dei tassi di coalescenza degli eventi LISA.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.7 - Studio dello Space Radiation Environment per la stima del danno da radiazione nello spazio

Obiettivo specifico: studio dello Space Radiation Environment attraverso l'uso congiunto dei dati raccolti dalle sonde spaziali, tra cui AMS-02, insieme ai modelli di magnetosfera terrestre per la stima del danno da radiazione nello spazio circumterrestre.

Descrizione: stime precise di danno nello spazio sono sempre più importanti per le agenzie spaziali e per le aziende aerospaziali per abbattere i costi di sviluppo di componenti e dispositivi space qualified. Nell'ambito del programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities) dell'Agenzia Spaziale Italiana, al servizio della comunità spaziale nazionale e internazionale, l'ASIF gateway sarà costituito presso i locali del Dipartimento di Fisica. Questo strumento permetterà l'accessibilità in ambito nazionale e internazionale del sistema coordinato delle facilities nazionali di irraggiamento e l'utilizzo delle stime TID, TNID e SEE derivanti dall'attività di ricerca nello space radiation environment. Milano Bicocca, considerato il complesso delle attività svolte e la loro importanza strategica, si candida a diventare un centro per lo space radiation environment a supporto delle attività spaziali. GeoMagSphere, codice di propagazione di particelle cariche nella magnetosfera terrestre, raffinato ed aggiornato attraverso i dati di AMS-02, è in grado di migliorare notevolmente, rispetto ai modelli usati al momento dall'ESA, e rendere affidabili stime e previsioni, soprattutto nei periodi di alta attività solare nei quali alti flussi di Solar Energetic Particles (SEP) propagano nella magnetosfera e sono in grado di produrre danni importanti. Il progetto coinvolge diversi campi, dalla fisica dello spazio alle tecnologie dei materiali e dei processi di produzione dei dispositivi. Il danno da radiazione nei materiali è un campo interdisciplinare, che coinvolge diversi settori di fisica e anche di ingegneria e chimica. Le tecnologie utilizzate per il design e la produzione dei dispositivi elettronici e delle celle solari per lo spazio sono determinanti per il funzionamento in seguito a un danneggiamento da radiazione. L'interesse in questo ambito da parte delle industrie aerospaziali è acclarato. Questo prefigura una proficua collaborazione e una intensa attività nell'ambito della terza missione, attraverso il trasferimento delle conoscenze nell'ambito del settore spazio.

Cronologia: azione in avvio nel 2021.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, trasferimento delle conoscenze alle aziende aerospaziali.

Biofotonica e Biofisica

Azione 2.8 - Progetti scientifici in ambito nanotecnologico

Obiettivo specifico: sviluppo di progetti di ricerca in ambito nazionale e internazionale su nanotecnologie e biofotonica.

Descrizione: uso di nanoparticelle (NP) metalliche/ossidi (principalmente d'oro o semiconduttore) per applicazioni biomediche in ambito diagnostico (imaging), terapeutico e di ricerca biotecnologica. Le nanoparticelle sviluppate hanno caratteristiche spettroscopiche e termiche utili per applicazioni terapeutiche e diagnostiche. Sono state sviluppate in collaborazione con il gruppo del prof. Pallavicini (Univ. Pavia) e con il gruppo del prof. Jouko Peltonen dell'università di Turku (Abo-Akademi, FI) e la ditta NOFIMA (NO) con i quali è attivo un progetto finanziato dall'accademia delle scienze norvegese. Il loro utilizzo ha prodotto numerose pubblicazioni e progetti finanziati (progetti per accelerazione d'impresa, Z-cube-Zambon). Le nanoparticelle per irraggiamento con luce nella banda del vicino infrarosso possono dare luogo a rilascio di energia termica su scale spaziali molto contenute (20 nm).

- Il brevetto depositato nel precedente triennio è stato concesso ed è in estensione PCT USA e Giappone. Il brevetto è oggetto di interesse di alcune ditte e di acceleratori di impresa. Oltre a questo il gruppo prevede di depositare un secondo brevetto nell'ambito dello sviluppo di piattaforme nano-bio-tecnologiche per la tissue-engineering, in particolare in ambito neurologico.

- svilupperemo matrici polimeriche che contengono nanoparticelle fototermiche per applicazioni antibatteriche in ambienti a rischio e non controllati, come avviato nel precedente triennio, con lo scopo di arrivare a formulare delle metodologie con un alto applicativo;

- intendiamo investigare la possibilità di un loro utilizzo per ipertermia localizzata, finalizzata al trattamento di tumore in sistemi xenograft e ortotopici: questo sia per le NP d'oro (irraggiamento NIR) che superparamagnetiche (irraggiamento RF);

- vogliamo aprire una linea di ricerca che utilizzi nanoparticelle piezoelettriche che insieme a quelle termiche permettano di fare trattamenti fisici (temperatura e campo elettrico) localizzati, al fine di sviluppare protocolli di sviluppo di tessuti ingegnerizzati;

- intendiamo sviluppare un prototipo di sorgenti LED infrarossa adattabile alle applicazioni in campo cellulare e medico (elettrodi flessibili e/o OLED).

Cronologia: alcune azioni già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.9 - Progetti scientifici in imaging ottico - fototermico

Obiettivo specifico: sviluppo di tecniche di imaging ottico di cross-correlazione spazio-temporale su microscopi ottici a scansione.

Descrizione: sviluppo di tecniche di correlazione e cross-correlazione su microscopi a scansione ottici in connessione con attività nell'ambito microscopia in vivo per diagnosi. Questa linea di ricerca ha risvolti applicativi sia in ambito medico-biotecnologico che in ambito più prettamente nanotecnologico. In ambito medico svilupperemo sistemi di cross-correlazione di stack temporali di immagini acquisite al microscopio ottico non lineare (fluorescenza e scattering di seconda armonica), particolarmente interessante per la diagnostica di tumori (stato della matrice extracellulare e metastatizzazione, in collaborazione con Dip. Biotecnologie unimib, con l'Ospedale San Raffaele e con l'istituto IFOM di Milano) e per lo studio della plasticità neuronale (CNR - Pisa).

Sempre in ambito medico intendiamo sviluppare metodi di indagine che possano sostituire o

affiancare l'analisi istopatologica di biopsie (collaborazione con prof. S. Stanciu, Polytechnic University of Bucharest). Su queste basi scientifiche è anche in corso un'attività in conto terzi per fornire servizi di imaging confocale con eccitazione non lineare in vivo su sistemi animali per gli Istituti Scientifici Ospedalieri.

Dal punto di vista nanotecnologico intendiamo sviluppare sistemi di imaging fototermico per ottenere immagini termiche ad alta (0.1mm) risoluzione per applicazioni crittografiche.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, utilizzo per prestazioni conto terzi e per trasferimento tecnologico.

Azione 2.10 - progetti scientifici in Ottica adattiva per imaging con eccitazione non-lineare in-vivo

Descrizione: intendiamo ampliare le possibilità di applicazione dei microscopi ottici con eccitazione non-lineare per studiare la reazione immunitaria a impianti di biomateriali e la metastatizzazione in-vivo (transcute) in sistemi murini. L'azione è basata su un progetto europeo in collaborazione con il Politecnico di Milano e altri cinque centri di ricerca europei e si basa sullo sviluppo di microchip autofluorescenti che possano fungere da sistemi di riferimento in-vivo per l'ottimizzazione del fronte d'onda e da obiettivi ottici per l'imaging della reazione immunitaria nell'animale. Questi stessi chip saranno i portatori di piccole porzioni di biomateriali di cui controllare la risposta immunitaria.

Cronologia: azione in avviamento e che proseguirà durante tutto il triennio, supportata da progetto europeo specifico.

Monitoraggio e verifica: riunioni scientifiche tra i collaboratori dei diversi gruppi, presentazioni a congressi, pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali, attivazione di nuovi progetti.

Azione 2.11 - Ideazione di protocolli di intelligenza artificiale per l'analisi di immagini con applicazioni nel campo dell'analisi istologica (Digital Pathology) e del remote sensing

Descrizione: nel campo della Digital Pathology sono stati sviluppati algoritmi che sfruttano tecniche di intelligenza artificiale/machine learning supervisionato e non supervisionato al fine di riconoscere, classificare e quantificare in maniera automatica strutture di interesse biologico in sezioni istologiche (collaborazione con il gruppo della Prof. F.Granucci, Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze). Le immagini vengono acquisite non solo mediante metodi standard, in cui le colorazioni delle sezioni sono ottenute con tecniche di immunoistochimica e immunofluorescenza, ma anche tramite microscopia ottica con eccitazione non lineare, dove vengono sfruttati la fluorescenza e il segnale (ad esempio di seconda armonica) generato da proteine e molecole endogene. Vengono quindi creati algoritmi che siano in grado di estrarre informazioni complementari e quantitative dalle immagini per poi combinarle in maniera ottimizzata in mappe iper-parametriche, in cui le caratteristiche morfologiche, funzionali e strutturali sono sfruttate simultaneamente al fine di supportare il ricercatore nella formulazione e verifica di un'ipotesi o il medico in fase di diagnosi. Per quanto riguarda il remote sensing, gli algoritmi elaborati sono stati applicati all'analisi di segnali iper-spetttrali relativi alla vegetazione. In particolare è stato sviluppato un metodo, che accoppia tecniche di machine learning supervisionato all'analisi del segnale tramite trasformata di Fourier discreta, in grado di estrarre dallo spettro di riflettanza parametri

biofisici fondamentali per la descrizione dello stato della vegetazione, quali la resa quantica di fluorescenza della clorofilla, l'indice di area fogliare, il contenuto di clorofilla nelle foglie e gli spettri di fluorescenza a livello extrafogliare e del cloroplasto. Il metodo sarà esteso all'analisi di immagini iper-spetttrali, acquisite sia tramite sensori a diverse altezze dal suolo oppure tramite droni, aerei e satelliti (collaborazione con il Prof. R. Colombo e il Dott. S. Cogliati, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra).

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, utilizzo per prestazioni conto terzi e per trasferimento tecnologico.

Azione 2.12 - Microstrutturazione di nicchie per la crescita e il trattamento di cellule, in collaborazione con l'Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti (ISASI) del CNR (sede di Pozzuoli)

Obiettivo specifico: si intende utilizzare foto-polimerizzazione indotta da luce laser altamente localizzata nello spazio per costruire microstrutture 3D per la crescita di cellule, per il trattamento in vitro di cellule e per la ricostituzione di tessuti.

Descrizione: Autovalutazione del pregresso. Il gruppo di biofotonica del Dipartimento di Fisica è attivo da alcuni anni nell'uso di foto-polimerizzazione laser con eccitazione non-lineare per la costruzione di nicchie 2D per la crescita di cellule. Le strutture sono costruite con photo-resist proteici. Queste strutture sono anche state dotate di caratteristiche chimiche e fisiche per il trattamento altamente localizzato di cellule con stress meccanici e termici. La ricerca ha dato luogo a due pubblicazioni nel 2020 e 2021 (Multiphoton Fabrication of Proteinaceous Nanocomposite Microstructures with Photothermal Activity in the Infrared. Zeynali, A. et al. Advanced Optical Materials (2020) 8:2000584; Multiphoton Fabrication of flexible photo-thermally active proteinaceous microstructures, Zeynali A. et al. Chem. Eng. Trans. 2021, in press).

Progetto: l'idea progettuale da portare avanti con il gruppo del Dr. Pietro Ferraro dell'ISASI è legata alla possibilità di accoppiare le strutture per la crescita cellulare a sistemi di microfluidica e di osservazione in 3D tramite olografia digitale.

Cronologia: l'azione è in fase di progettazione e le azioni specifiche inizieranno nell'autunno 2021; Si prevede di ottenere un sistema prototipo di microfluidica con inserite le strutture proteiche e validato per imaging con olografia digitale per la fine del 2023.

Monitoraggio e verifica: il monitoraggio avverrà per milestones che saranno: (M1, giugno 2022) costruzione di circuiti da microfluidica con finestre di vetro per la stampa 3D delle microstrutture proteiche; (M2, dicembre 2022) imaging delle microstrutture per olografia digitale e (M3, dicembre 2023) validazione del sistema microfluidico con microstrutture per il trattamento di cellule e visualizzazione dell'effetto tramite imaging.

Azione 2.13 - Imaging scanning microscopy con eccitazione non lineare di tessuti biologici, in collaborazione con l'IIT di Genova (prof. A. Diaspro) e l'INFN di Milano-Bicocca (Dr. G. Pessina).

Obiettivo specifico: il gruppo di biofotonica del Dipartimento di Fisica intende sviluppare una sistema di image scanning microscopy adattato al microscopio con eccitazione non lineare attualmente in uso nel laboratorio, al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore di immagini ottenute in tessuto.

Descrizione: il gruppo del prof. Diaspro ha recentemente sviluppato una metodologia nota

come image scanning microscopy che permette di aumentare il rapporto segnale/rumore di imaging confocale. Sebbene nella microscopia con eccitazione a più fotoni non sia necessario l'utilizzo di una modalità confocale di acquisizione, esiste ancora un grande margine di miglioramento sia del rapporto segnale/rumore che della risoluzione. Intendiamo investigare questa possibilità sfruttando i rivelatori ad array di SPAD la cui elettronica di acquisizione sarà sviluppata dall'INFN di Milano-Bicocca.

Cronologia: dall'autunno 2021 alla fine del 2023.

Monitoraggio e verifica: il monitoraggio avviene per milestones: (M1, autunno 2022) acquisizione e installazione di un array SPAD su una porta del microscopio con eccitazione non-lineare; (M2, dicem) caratterizzazione del segnale/rumore e della risoluzione nel piano focale e lungo l'asse con sistemi artificiali costruiti tramite stampa 3D a fotopolimerizzazione a due fotoni.

Elettronica

Azione 2.14 - Circuiti integrati per strumentazione

Obiettivo specifico: progettazione e realizzazione di circuiti integrati analogico e digitali da integrare in strumentazione ad alte prestazioni.

Descrizione: il gruppo di microelettronica si è dotato degli strumenti hardware e software necessarie per progettare e caratterizzare circuiti integrati e ha promosso collaborazioni con centri di ricerca e industrie per il loro utilizzo in strumentazione ad alte prestazioni per diverse applicazioni. Si prosegue lo sviluppo di interfacce per MDT in collaborazione con il Max Plank Institute da utilizzarsi nell'esperimento ATLAS al CERN. È anche responsabile nazionale di un progetto PRIN17 per lo sviluppo di un'interfaccia neuronale (Brain28). Infine è responsabile dell'esperimento ProSD finanziato dall'INFN per lo sviluppo di circuiti di controllo per le macchine di adroterapia.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, trasferimento tecnologico.

Azione 2.15 - Circuiti integrati per applicazioni industriali

Obiettivo specifico: progettazione e realizzazione di circuiti integrati analogico e digitali in collaborazione con partner industriali.

Descrizione: il gruppo di Microelettronica ha avviato collaborazioni con ditte del settore nel settore della microelettronica (Infineon, Melexis, STMicroelectronics) per lo sviluppo di circuiti integrati per applicazioni industriali. Il Gruppo ha acquisito la capacità di svolgere l'intero processo di sviluppo dalla definizione delle specifiche, alla modellizzazione dei sistemi, alla progettazione dei circuiti integrati alla loro caratterizzazione in laboratorio. Ci si propone di continuare ed incentivare le attività in corso. Alcune riguardano le problematiche relative alla realizzazione in tecnologie di potenza di circuiti di elaborazione mista del segnale. Altre attività riguardano lo sviluppo di convertitori di potenza DC-DC ad alte prestazioni (alta frequenza di switching, alta efficienza, etc...). Inoltre sono in fase di sviluppo circuiti di sensing e limitazione di corrente per applicazioni automotive (in collaborazione con Infineon). Infine si proseguirà nello sviluppo di dispositivi per applicazioni automotive (LIDAR, e comunicazione power-line). Le attività sono finanziate da contratti di ricerca dalle industrie coinvolte e da due Progetti Europei ECSEL.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, trasferimento tecnologico.

Azione 2.16 - Sviluppo di circuiti integrati in tecnologie nanometriche

Obiettivo specifico: progettazione e realizzazione di circuiti integrati analogico e digitali in tecnologie nanometriche.

Descrizione: il gruppo di microelettronica è stato uno dei primi a livello europeo ad avere accesso a tecnologie nanometriche per la realizzazione di circuiti integrati, in particolare le tecnologie 28nm-CMOS e la 16nm-finFeT. Queste tecnologie sono utilizzate per lo studio del danneggiamento da radiazione sia Total Dose che Single-Event, sia in dispositivi singoli che in circuiti più complessi. Inoltre tali tecnologie sono utilizzate nello sviluppo di circuiti per applicazioni in sistemi di telecomunicazioni 5G, sistemi di lettura del segnale in esperimenti di fisica, in applicazioni biomedicali e in applicazioni spaziali. Le attività sono finanziate da un progetto regionale lombardo (Pignoletto in collaborazione in particolare con la ditta RedCat

Devices), due progetti ministeriali (due PRIN come PI) e due progetti finanziati dall'INFN-Gruppo 5 (ScalTech28 e FinFet16v2).

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, trasferimento tecnologico.

Azione 2.17 - Sviluppo di circuiti integrati ASIC

Obiettivo specifico: sportello per attività di sviluppo di circuiti integrati per applicazioni specifiche (ASIC).

Descrizione: L'attività prevede l'offerta di sviluppare circuiti integrati full-custom misti analogico digitali per applicazioni specifiche, su richiesta e specifiche di clienti esterni che supportino per la parte software. Il gruppo ha esperienza nell'utilizzo di moltissime tecnologie integrate, principalmente CMOS e BiCMOS con lunghezza di canale minimo fino a 28nm per il CMOS planare e 16nm per i finFeT. Inoltre ha esperienza anche per le tecnologie di potenza ed ad alta tensione. L'attività prevede, tra l'altro, la definizione delle specifiche, lo sviluppo di modelli comportamentali per l'ottimizzazione, il disegno dello schematico con incluse simulazioni, il disegno del layout con verifiche e simulazioni post-layout. Infine è offerta anche la possibilità di caratterizzazione dei circuiti integrati.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: visibilità del sito web dedicato, numero di prestazioni conto terzi effettuate, fatturato.

Azione 2.18 - Imaging Termoacustico

Obiettivo specifico: progettazione di Rivelatori Termoacustici per Applicazioni Mediche e Biofisiche.

Descrizione: i fasci di particelle energetiche (ioni, protoni e fotoni) che interagiscono con i tessuti umani generano un surriscaldamento locale della zona irraggiata che provoca micro-espansioni/compressioni volumetriche. Tale fenomeno induce un ultrasuono (effetto termoacustico) che può essere letto da un rivelatore acustico posto a una certa distanza dalla sorgente. L'acquisizione e l'elaborazione nel dominio digitale di tale segnale costituisce uno strumento avanzato per:

- rilevazione di fenomeni dovuti alla materia oscura (valutata nell'esperimento MOSCAB dell'INFN)
- imaging acustico di tessuti biologici (nel caso di sorgenti laser/fotoni);
- verifica sperimentale del range di penetrazione di fasci di protoni per hadronterapia oncologica.

Nello specifico gli ultrasuoni, oltre a potere essere riflessi dal tessuto possono essere generati nel tessuto da sorgenti come laser pulsati o bursts di particelle elementari. L'imaging a ultrasuoni si può quindi vantaggiosamente estendere all'ambito del monitoraggio del range del fascio in hadronterapia (attività svolta nell'ambito dell'esperimento Proton Sound Detector dell'INFN) e utilizzato per imaging in profondità con risoluzioni ottiche.

I gruppi di Microelettronica e Biofisica lavorano attualmente allo sviluppo di rivelatori a segnali misti, basati su matrici di trasduttori (sensori) acustici nella banda 50 kHz – 5 MHz (per l'acquisizione dei segnali acustici), circuiti analogici integrati multicanale (per la digitalizzazione del segnale) e stadi di elaborazione digitale (per la produzione di immagini acustiche e stima delle caratteristiche del fascio).

Nell'ambito di questa attività, è in corso di svolgimento la campagna di crowdfunding per il progetto paMELA (Photoacoustic Melanoma Detector) che punta a realizzare una sonda compatta e a basso costo per diagnosticare e caratterizzare i melanomi in modo non invasivo,

sfruttando l'effetto termo-acustico indotto da una sorgente laser impulsata, con prestazioni migliori rispetto alle tecniche dermatoscopiche tradizionali.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, trasferimento tecnologico.

Azione 2.19 - Imaging Fotoacustico per la Medicina e la biofisica. Marcello DeMatteis Giberto.

Nell'imaging clinico e preclinico, l'ecografia UltraSound (US) fornisce immagini degli organi interni con una risoluzione spaziale di circa 1 mm a una profondità di decine di cm, ma ha scarsa selettività per diversi tessuti, essendo principalmente basata sull'impedenza acustica. Inoltre, la sua risoluzione spaziale non consente di rilevare caratteristiche fini, come i vasi sanguigni, o di visualizzare l'attività angiogenica che è un importante marker per la progressione della placca aterosclerotica.

Gli ultrasuoni, oltre a potere essere riflessi dal tessuto possono essere generati nel tessuto da sorgenti come laser pulsati o bursts di particelle elementari. L'imaging a ultrasuoni si può quindi vantaggiosamente estendere all'ambito del monitoraggio di terapie adroniche e utilizzato per imaging in profondità con risoluzioni ottiche.

L'attività trasversale che è in corso e in espansione è legata a due linee di ricerca:

1. lo sviluppo di un sistema di imaging della doses rilasciata nei tessuti durante la terapia adronica al fine di programmare e monitorare i piani di trattamento in questo ambito;
2. lo sviluppo di un prototipo di una sonda manuale per l'imaging US e PAUS di tessuti profondi (5-10 cm) in animali da laboratorio a un frame rate di circa 10 Hz.

Uno dei pilastri della ricerca è lo sviluppo di un rivelatore US multicanale (64 canali) basato su 4 Circuiti integrati per applicazioni specifiche (ASIC) che implementano ciascuno 16 front-end analogici combinato all'uso di laser a diodo a due lunghezze d'onda NIR

Parole chiave. Rilevazione ecografica, imaging medicale, fotoacustica, tomografia. Biofisica & Elettronica & Informatica.

Fisica Applicata (Medicina, Ambiente, Beni Culturali)

Azione 2.20 - Applicazioni alla Medicina di metodologie e strumentazioni sviluppate per la ricerca fondamentale

Obiettivo specifico: potenziare le collaborazioni del Dipartimento di Fisica con il Dipartimento di Scienze della Salute ed i reparti di Medicina Nucleare degli Ospedali San Gerardo, Niguarda e San Raffaele sulle tematiche della strumentazione dell'imaging medico e della dosimetria di precisione.

Descrizione: l'evoluzione della ricerca fondamentale ai futuri acceleratori richiede lo sviluppo di tecniche di rivelazione, materiali sensibili ed elettronica di lettura adatti ad operare in condizioni di affollamento di eventi e tasso di ripetizione molto elevati, ovvero con necessità di risoluzioni spaziali e temporali mai raggiunte. Questi dispositivi possono essere applicati con successo alla diagnostica medica per immagini, in particolare negli apparati per PET-CT e PET-MRI.

Attualmente la ricerca in PET si concentra sul miglioramento della risoluzione in coincidenza temporale della catena di rivelazione, per migliorare gli attuali 200 ps e dirigersi verso la nuova frontiera dei 10 ps. L'utilizzo nella TOF-PET di una sempre più accurata informazione di Time of Flight permette infatti di aumentare sensibilmente il rapporto segnale rumore nelle immagini PET, consentendo diagnosi più precise e precoci, e permettendo allo stesso tempo di diminuire sensibilmente la quantità di radiotracciante iniettato nei pazienti. Il raggiungimento della frontiera dei 10 ps permetterebbe di accedere direttamente all'informazione spaziale sulla posizione del punto di annichilazione dei positroni, senza passare attraverso una ricostruzione tomografica, portando ad un notevole aumento della sensibilità degli scanner PET.

Nuove soluzioni volte al raggiungimento della frontiera dei 10 ps sono in fase di studio. Particolare attenzione viene posta nello sviluppo di metamateriali, ovvero speciali accoppiamenti di substrati dalla risposta estremamente veloce (come scintillatori plastici, o nanomateriali) con scintillatori ad elevata densità in grado di rivelare la radiazione gamma con elevate efficienza e risoluzione energetica. Speciali configurazioni geometriche di accoppiamento vengono utilizzate per permettere la condivisione in entrambi i materiali dell'energia rilasciata dagli elettroni emessi per effetto fotoelettrico. In questo modo è possibile ottenere ottime risposte temporali mantenendo allo stesso tempo un'elevata sensibilità. Altre linee di sviluppo nella direzione della TOF-PET comprendono lo studio di processi ultraveloci di produzione dei fotoni ottici, come l'effetto Cherenkov, e la Hot Intraband Luminescence.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, utilizzo per trasferimento tecnologico, valorizzazione delle competenze interdisciplinari per una migliore integrazione dei diversi gruppi di ricerca.

Azione 2.21 - Progetti scientifici in imaging clinico -ultrasuoni, X, gamma, e campi magnetici- per la diagnostica e terapia medica

Obiettivo specifico: quantificazione di tecniche di imaging medico basate su sistemi di tomografia computerizzata ad ultrasuoni, raggi X, gamma, e campi magnetici che forniscano nuovi biomarcatori per la diagnostica e terapia medica da utilizzare in studi clinici dai ricercatori e clinici del Dipartimento di Medicina.

Descrizione: sviluppo di tecniche di quantificazione delle immagini 2D e 3D misurate mediante sistemi di diagnostica per immagine medica combinati a tecniche computazionali avanzate (biostatistica, intelligenza artificiale) allo scopo di estrarre dalle immagini biomarcatori di patologia per la diagnosi nell'uomo e per il monitoraggio delle terapie, in particolare relativamente alla radioterapia a guida di immagini. Questa linea di ricerca ha risvolti applicativi in ambito medico per il supporto, anche mediante sistemi di decisione automatizzati, della diagnosi di malattie multifattoriali complesse, quali malattie neurodegenerative, cancro) e per l'indirizzamento alle terapie.

In ambito medico svilupperemo sistemi computerizzati per l'estrazione, la quantificazione e la selezione di caratteristiche delle immagini correlate a fenotipi di malattia diversi, per la diagnosi e la prognosi differenziale mediante sistemi ad ultrasuoni, TAC (tomografia assiale computerizzata), PET (tomografia di emissione di Positroni), SPECT (tomografia ad emissione di Fotoni Singoli), MRI (Risonanza Magnetica Nucleare), anche in modalità combinata (es. PET/CT) o in multimodalità (es. MRI multiparametrica). Queste attività verranno svolte in stretta collaborazione con il Dipartimento di Medicina (Prof. ssa Messa, Prof. ssa Gilardi, Prof. ssa Valsecchi) e con alcuni ospedali lombardi quali l'Ospedale San Raffaele e, l'Ospedale San Gerardo di Monza, su specifici protocolli clinici. A questo scopo utilizzeremo in particolare analisi statistiche parametriche delle immagini (Es SPM, statistical parametric mapping), tecniche di segmentazione e quantificazione loco-regionale, tecniche di radiomica combinate ad algoritmi di machine learning.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, argomenti per tesi e dottorati di ricerca.

Azione 2.22 - Progetti scientifici in imaging clinico integrato a medicina molecolare per la teranostica di precisione

Obiettivo specifico: potenziare le collaborazioni del Dipartimento di Fisica con il Dipartimento di Scienze della Salute, di Biotecnologie e di Informatica e dell'Istituto di Bioimmagini e Fisiologia Molecolare del Consiglio Nazionale delle Ricerche sulle tematiche dell'imaging medico integrato alle scienze omiche (in particolare genomica ed epigenomica) per la diagnostica e terapia (teranostica) di precisione.

Descrizione: sviluppo di tecniche di selezione, integrazione e validazione di biomarcatori di imaging e molecolari mediante metodi computazionali avanzati di bioinformatica, biostatistica e machine learning allo scopo di estrarre biomarcatori molecolari o radiogenomici di patologia per teranostica di precisione nell'uomo.

Questa linea di ricerca ha risvolti applicativi, in ambito pre-clinico, per lo sviluppo di nuovi target molecolari per la teranostica e, in ambito clinico, per la identificazione di nuove signature genomiche o radiogenomiche per la classificazione dei fenotipi di malattia, in ottica di medicina di precisione.

Svilupperemo metodi computazionali avanzati basati su simulazioni in silico e metodi bioinformatici di integrazione di marcatori molecolari che integrino i biomarcatori in vivo, ottenuti mediante i sistemi di diagnostica per immagine medica, con biomarcatori omici, in particolare signature geniche ed epigenetiche, ottenuti sia ex vivo (es. mediante biopsie tissutali), sia in vivo (es. mediante biopsie liquide). A questo proposito svilupperemo metodologie quali ad esempio: metodi di system medicine, di network medicine, di system biology, basati su teorie di reti topografiche, metodi di simulazione in silico basati e metodi di radiogenomica. Queste attività verranno svolte in stretta collaborazione con il Dipartimento di Medicina (Prof.ssa Messa, Prof.ssa Gilardi e Prof.ssa Valsecchi), Informatica (Prof.ssa Pasi, Prof.

Antoniotti), Biotecnologie (Prof. ssa Lilia Alberghina e Prof. Danilo Porro) e con l'Istituto di Bioimmagini e Fisiologia Molecolare del Consiglio Nazionale delle Ricerche, IBFM-CNR).

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, utilizzo per trasferimento tecnologico, valorizzazione delle competenze interdisciplinari per una migliore integrazione dei diversi gruppi di ricerca.

Azione 2.23 - Creazione di una rete di esperti per la caratterizzazione e la valorizzazione di beni culturali

Obiettivo specifico: obiettivo specifico: costituzione di una comunità di esperti interdisciplinare.

Descrizione: costruire una comunità di esperti interdisciplinare (ricercatori, scienziati/professionisti fisici, studiosi nei campi della fisica, della storia dell'arte, del restauro, ma anche di psicologia, sociologia ed educazione) che metteranno a sistema le loro competenze con l'obiettivo di perseguire il traguardo 11.4 dell'agenda 2030 delle Nazioni Unite ("Potenziare gli sforzi per proteggere e salvaguardare il patrimonio culturale e naturale del mondo"). Il Dipartimento di Fisica ha coordinato alcuni progetti per lo studio di significativi beni culturali (come "la Croce di Chiaravalle", nell'ambito del Restauro promosso da Restituzioni 2016 e i "reperti di Sant'Imbenia") che potrebbero costituire da "incubatore" per questa nuova azione.

Cronologia: azione parzialmente nuova: si prevedono progetti comuni tra il Dipartimento di Fisica e altri dipartimenti UNIMIB, così come reti con esperti nazionali e internazionali, con nuovi progetti promossi nel prossimo triennio.

Monitoraggio e verifica: monitoraggio e verifica dei progetti coordinati dal Dipartimento.

Azione 2.24 - Azioni di formazione degli studenti (magistrali e dottorandi)

Obiettivo specifico: fornire agli studenti la possibilità di svolgere periodi di studio e ricerca in Italia e all'estero, nell'ambito di collaborazione con importanti enti di ricerca.

Descrizione: l'azione proposta è in linea con il piano strategico di Ateneo in quanto si prefigge nel prossimo triennio di:

- restare connesso alla ricerca di base presso le grandi infrastrutture europee per consolidare e potenziare la presenza dell'Ateneo nelle reti infrastrutturali europee (ESFRI), partecipando anche a bandi di finanziamento Europei Horizon Europe, in ambito multidisciplinare, in linea con quanto già fatto negli ultimi 20 anni (il Dipartimento accede regolarmente, sulla base di "beamtime requests" con collaborazioni nazionali e internazionali alle infrastrutture nazionali ed internazionali);
- proporre corsi e scuole dottorali per far crescere il sotto-sistema dell'Alta formazione;
- incentivare azioni di terza missione, sia diffondendo nella società civile i risultati dei progetti (con varie azioni divulgative a più livelli, in linea con attività già intraprese).

Si intendono promuovere anche borse di dottorato in co-tutela (come quella istituita tra ISIS e il nostro Dipartimento nel 2020).

Cronologia: azione già in corso, da proseguire ed implementare nel triennio.

Monitoraggio e verifica: monitoraggio della soddisfazione di docenti e studenti (sia per l'efficacia dell'azione didattica che per l'interesse degli studenti).

Fisica dei Plasmi

Azione 2.25 - Realizzazione di sorgenti a plasma supersonico per applicazioni ai materiali

Obiettivo specifico: sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a plasma supersonico per applicazioni nel campo dei nuovi materiali.

Descrizione: le attività di ricerca si svolgono presso il Centro PlasmaPrometeo e riguardano la realizzazione e caratterizzazione di dispositivi a plasma per la deposizione di nanostrutture organizzate con applicazioni all'ambiente e all'energia. Si tratta di sorgenti a plasma supersonico che verranno impiegate per la deposizione di film sottili di ossidi metallici e per la modifica delle proprietà morfologiche e chimiche delle superficie.

Si sviluppano inoltre codici di simulazione numerica della cinetica chimica e fluidodinamica dei plasmi e si caratterizzano le sorgenti con diagnostiche ottiche ed elettrostatiche. Le attività si svolgono nell'ambito di progetti di ricerca e di contratti con le industrie, in collaborazione con i dipartimenti della nostra Università (Scienze dei Materiali, DISAT, Biologia e Biotecnologie). Il Centro manterrà rapporti di collaborazione con numerosi ricercatori italiani e stranieri. In particolare, per quanto riguarda i partner internazionali, verranno potenziate le collaborazioni con Fraunhofer Institute di Stoccarda e Postdam, Research School of Electrical, Energy and Materials Engineering, The Australian National University, Plasma Sources and Application Centre NIE, Nanyang Technological University, Singapore.

Cronologia: azione in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.26 - Plasma per applicazioni biomedicali

Obiettivo specifico: sviluppo e caratterizzazione di sorgenti a plasma freddo per applicazioni in campo biologico e medico.

Descrizione: le attività di ricerca si svolgono presso il Centro PlasmaPrometeo e si sviluppano secondo due linee principali. Una prima linea riguarda il programma di ricerca intrapreso recentemente, focalizzato alla realizzazione di sorgenti a plasma per l'abbattimento della carica microbiologica dell'aria. Il secondo tema si occupa delle applicazioni del plasma freddo in ambito specificatamente medico. In entrambe le linee si utilizzano plasmi freddi le cui specie reattive sono ritenute essere l'agente principale delle azioni sulla materia biologica, il che rende evidente la necessità di un'ottima comprensione della complessa chimica indotta dall'azione del plasma, sia in fase gassosa che in fase liquida. In linea generale, le specie chimiche reattive forniscono alle cellule una serie di stimoli, che includono uno stress ossidativo indotto dalle specie reattive dell'ossigeno. In ambito medicale, il plasma, a seconda del dosaggio e della tipologia del target porta a stimolare processi cellulari (ad esempio quelli legati alla proliferazione o alla migrazione delle cellule) o condurre alla morte di patogeni e cellule tumorali senza danneggiare i tessuti circostanti. L'obiettivo che ci si pone è quello di avviare un laboratorio dedicato specificatamente alla realizzazione e perfezionamento di sorgenti di plasma adeguate a questo tipo di applicazioni, nonché allo studio della fisica e in parte della chimica di questi plasmi, rafforzando la linea di ricerca sulle applicazioni dei plasmi in ambito biomedico. Inoltre, attraverso lo sfruttamento di collaborazioni con altri gruppi di ricerca, si intende perseguire da un lato una maggiore comprensione dei meccanismi di azione del plasma sulla materia biologica e dall'altro identificare e sviluppare particolari applicazioni mediche che si prestano ad essere la base per lo sviluppo di trattamenti da portare sul mercato.

Cronologia: azioni in corso e nuove azioni.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, sfruttamento dei processi, brevettazione.

Azione 2.27 - Turbolenza e trasporto in plasmi magnetizzati: ricerca di base e formazione

Obiettivo specifico: esperimenti sulla turbolenza e il trasporto in un plasma di laboratorio toroidale in rete con istituti stranieri e con FuseNET.

Descrizione: le attività si svolgono sulla macchina toroidale a plasma semplicemente magnetizzato Thorello in funzione presso il Centro PlasmaPrometeo. Sono focalizzate sullo studio dei meccanismi di trasporto anomalo di particelle e delle instabilità responsabili della formazione di strutture coerenti e intermittenti. Tali attività vedono la collaborazione nell'attività sperimentale con Centre pour le Physique des Interactions Ionique et Moleculaires del CNRS a Marsiglia e l'Istituto di Fisica del Plasma IFP del CNR a Milano. Contestualmente a tali attività, la macchina Thorello, nell'ambito della network europea FuseNET, fa parte delle attrezzature europee dedicate ai progetti di formazione di fisica dei plasmi in ambito Europeo per i prossimi anni.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori stranieri e fondi per la ricerca.

Azione 2.28 - Fisica delle particelle veloci nelle macchine per la fusione termonucleare a confinamento magnetico

Obiettivo specifico: realizzazione e partecipazione ad esperimenti sulla fisica delle particelle veloci nelle principali macchine a confinamento magnetico europee ed extra-europee.

Descrizione: le attività di ricerca sono svolte in collaborazione con l'Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi di Milano e i principali laboratori sulla fusione termonucleare a confinamento magnetico a livello europeo ed extra-europeo. L'obiettivo è la realizzazione e partecipazione ad esperimenti sulla fisica delle particelle veloci nelle macchine a confinamento magnetico. Le attività sperimentali si concentreranno sia sugli effetti degli ioni energetici prodotti dalle reazioni di fusione nucleare o dai sistemi di riscaldamento addizionale sul plasma (eccitazione ed interazione con le instabilità alfvéniche, effetti sulle proprietà del trasporto etc.), sia sulle proprietà degli elettroni runaway prodotti, in particolare, a seguito di fenomeni di disruzione. Il lavoro di ricerca si inquadra, per la maggior parte, nelle attività del consorzio europeo EuroFusion all'interno del nono programma quadro in via di definizione. In ambito europeo si svolgeranno, in particolare, attività sulle macchine per la fusione di media e larga scala. In ambito extra-europeo, si continuerà la collaborazione esistente con General Atomics negli Stati Uniti e l'istituto di fisica del plasma dell'Accademia delle Scienze cinese, mediante esperimenti sui dispositivi disponibili presso queste istituzioni.

Cronologia: azione in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.29 - Trasporto turbolento nei plasmi a confinamento magnetico e fisica del bordo

Obiettivo specifico: studio del trasporto turbolento nei plasmi a confinamento magnetico e dei fenomeni che caratterizzano il bordo del plasma.

Descrizione: le attività di ricerca si inquadrano tra le linee programmatiche del consorzio europeo sulla fusione termonucleare Eurofusion e della società S.C.A R.L. per la realizzazione del progetto Divertor Tokamak Test (DTT). Nell'ambito del trasporto turbolento si useranno i più avanzati metodi computazionali, anche fondati sul calcolo parallelo massivo con super-computer, per la comprensione dei risultati di esperimenti sui tokamak, sia facendo uso di modelli "ridotti", sia mediante dettagliate simulazioni giro-cinetiche. Lo studio dei fenomeni al bordo plasma si rivolgerà ad esperimenti riguardanti le interazioni del plasma con la parete, con particolare attenzione all'interpretazione dei dati diagnostici. Per entrambi i settori, la comprensione maturata dall'analisi degli esperimenti europei sarà quindi applicata per prevedere i regimi di funzionamento del Divertor Tokamak Test, in corso di realizzazione presso i laboratori ENEA di Frascati. L'attività scientifica oggetto di questa azione beneficia delle competenze apportate da nuove risorse umane del gruppo plasmi.

Cronologia: nuova azione.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.30 - Sviluppo di strumentazione innovativa per misure di radiazione nei plasmi termonucleari e presso le grandi sorgenti di neutroni

Obiettivo specifico: sviluppo di rivelatori innovativi per misure di radiazione - in particolare neutroni, raggi gamma e raggi X - a supporto delle attività sperimentali sui plasmi per la fusione termonucleare e per le sorgenti di neutroni.

Descrizione: lo studio sperimentale dei plasmi termonucleari necessita di misure di radiazione, tra cui l'emissione di neutroni, raggi gamma e raggi X. In particolare, è necessario progettare rivelatori innovativi, con alte capacità di conteggio e risoluzione energetica, e che tengano conto delle peculiari condizioni di misura della macchina per la fusione termonucleare. Verranno progettate e realizzate diagnostiche basate su rivelatori a stato solido e a gas per misure di radiazione nucleare. Saranno considerate le necessità degli esperimenti in funzione per la fusione termonucleare, a confinamento magnetico ed inerziale, e delle sorgenti di neutroni a spallazione ISIS presso il Rutherford Appleton Laboratory, nel Regno Unito, e European Spallation Source a Lund. Saranno progettati rivelatori di radiazione nucleare ed elettromagnetica, sia per lo studio delle particelle veloci, sia per la comprensione della fisica al bordo, di interesse per progetti internazionali sulla fusione termonucleare, in particolare il Divertor Tokamak Test presso i laboratori ENEA di Frascati, ITER in Francia e JT-60SA in Giappone.

Cronologia: azione parzialmente in corso, proseguimento ed ampliamento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.31 - Realizzazione del laboratorio Sourire per l'utilizzo di una sorgente di neutroni veloci

Obiettivo specifico: realizzazione del laboratorio e sviluppo di tecniche di analisi.

Descrizione: la sorgente di neutroni Sourire e i laboratori attigui sono rivolti alle applicazioni della fisica alla misura dei neutroni e alla ricerca energetica, ambientale e per i beni culturali. In primo luogo fornirà la possibilità di testare rivelatori ottimizzati alla rivelazione di neutroni da 14 MeV. Questi rivelatori sono studiati e realizzati presso il Dipartimento di Fisica, e sono poi trasportati presso sorgenti di neutroni internazionali (per esempio presso il Rutherford Appleton Laboratory nel Regno Unito), per poi essere installati come diagnostica presso diversi laboratori (ad esempio il Joint European Torus JET, Culham, GB). La possibilità di testare i

rivelatori sviluppati direttamente presso Sourire rappresenta un punto chiave per migliorare la qualità del lavoro del Dipartimento di Fisica in questo campo e permette di ottimizzare e ridurre i tempi di realizzazione del rivelatore stesso. Un secondo ambito di applicazione riguarda l'analisi elementale mediante irraggiamento con neutroni veloci. L'Attivazione neutronica "ritardata" (NAA) che utilizza neutroni termici, epitermici o veloci associata all'attivazione neutronica utilizzando i "Gamma Prompt" (PGNAA) può essere utilizzata efficacemente per l'analisi degli elementi di tutta la tavola periodica; le applicazioni ai diversi campi della ricerca scientifica sono quindi innumerevoli. La sorgente di neutroni sarà in particolare utilizzata per lo sviluppo di nuove tecniche di analisi non invasive e non distruttive da utilizzarsi in ambito archeometrico per la caratterizzazione elementare di manufatti.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, prestazioni conto terzi e per trasferimento tecnologico, brevetti.

Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

Azione 2.32 - Ricerca delle proprietà del bosone di Higgs e di Fisica oltre il Modello Standard con l'esperimento CMS al CERN

Obiettivo specifico: studio delle collisioni protone-protone a energie nel centro di massa di 13 e 14 TeV con l'esperimento CMS a LHC.

Descrizione: l'esperimento CMS è stato progettato per studiare le caratteristiche delle collisioni protone-protone ad altissime energie. Durante il primo periodo di presa dati con energie di collisione di 8 TeV, il contributo di Milano Bicocca è stato determinante nella scoperta del bosone di Higgs, con ruoli di leadership nello studio del decadimento in due fotoni e in due bosoni. Nelle prossime fasi di LHC l'aumento della luminosità e le migliorie dell'apparato sperimentale permetteranno misure più accurate e ricerche di Nuova Fisica più sensibili. Si procederà allo studio dettagliato delle proprietà del bosone di Higgs, per verificarne il ruolo nel meccanismo di rottura spontanea della simmetria delle interazioni elettrodeboli. Si cercherà inoltre l'evidenza diretta ed indiretta di nuovi fenomeni o di nuove particelle di alta massa invocate, sul piano concettuale, per spiegare alcune proprietà delle interazioni fondamentali o, su base sperimentale, come candidate di materia oscura.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.33 - Ricerca in fisica del sapore e studio della violazione di CP con l'esperimento LHCb al CERN

Obiettivo specifico: studio delle interazioni fondamentali nel settore del flavour da analisi di collisioni protone-protone a energie nel centro di massa di 13 TeV con l'esperimento LHCb a LHC.

Descrizione: LHCb è dedicato principalmente allo studio della produzione e dei decadimenti degli adroni beauty e charm, per la ricerca di evidenze indirette di fisica oltre il Modello Standard attraverso misure di precisione di violazione di CP e la ricerca di eventi rari. Il gruppo di Milano-Bicocca partecipa ad LHCb fin dalla fase di progetto dell'esperimento ed ha contribuito agli importanti risultati di fisica ottenuti con i dati raccolti nel Run1 e Run2 di LHC, corrispondenti a circa 9 fb⁻¹ di collisioni protone-protone. È attualmente in corso l'installazione dell'upgrade del rivelatore LHCb che ne aumenta le potenzialità in vista del Run3, che avrà inizio nel 2022. Il gruppo di Milano-Bicocca è stato protagonista della progettazione e realizzazione dell'elettronica di front-end per la lettura dei nuovi foto-rivelatori installati nel RICH, che permetterà di utilizzare a pieno l'alta frequenza di interazioni protone-protone. In vista della successiva fase di LHC a una luminosità ancora superiore, e dell'ulteriore upgrade previsto per il rivelatore LHCb, il gruppo si sta impegnando in nuovi programmi di R&D su rivelatori ad alta risoluzione temporale.

Nel triennio 2021-2023 continuerà l'attività di analisi dati, sfruttando la maggior statistica disponibile per allargare lo spettro di analisi possibili, sia nell'ambito della ricerca di violazioni di CP nel settore del charm e del beauty che di possibili deviazioni dalle previsioni del MS con misure di precisione. In particolare continueranno le analisi relative a tre argomenti attualmente di particolare interesse: i test riguardanti universalità leptonica e le possibili violazioni della conservazione del sapore leptonico.

Un ruolo sempre maggiore nello sviluppo delle analisi dei dati viene ricoperto dalle tecniche di AI.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.34 - Ricerca del Doppio Decadimento Beta con gli esperimenti CUORE e CUPID ai Laboratori INFN del Gran Sasso

Obiettivo specifico: studio delle proprietà del neutrino mediante la ricerca del Doppio Decadimento Beta, studio di processi di bassa energia: Dark Matter, assioni, decadimenti nucleari rari. Upgrade di CUORE.

Descrizione: CUORE è un esperimento Italia-USA proposto, progettato e coordinato da un gruppo di fisici di questo Dipartimento attualmente in presa dati presso i Laboratori INFN del Gran Sasso. Il goal principale, la ricerca del Doppio Decadimento Beta senza emissioni di neutrini (0n-DBD), è molto ambizioso e la sensibilità di CUORE lo colloca tra i primi due o tre esperimenti al mondo. CUORE ha da poco superato il traguardo di un'esposizione pari a 1 ton x year e continuerà a raccogliere dati per qualche anno. È realistico, seppure non scontato, presumere che il 0n-DBD non sarà scoperto dalla generazione di esperimenti ora in presa dati, e la comunità internazionale si sta coagulando attorno ai pochi esperimenti di nuova generazione che riusciranno ad essere finanziati. Uno di questi sarà CUPID, un upgrade di CUORE che ha già ricevuto l'approvazione scientifica e si prepara nel 2021 a discutere il budget con le principali Funding Agencies: INFN e DOE. CUPID come idea e come tecnologia nasce, ancora una volta, nel nostro Dipartimento. Si basa infatti su una tecnologia sviluppata da ricercatori di Milano-Bicocca e già utilizzata in un esperimento di piccola scala. L'ufficializzazione della proposta Lo Spokesperson italiano di CUPID afferisce al nostro Dipartimento, e molte delle attività dedicate alla finalizzazione del progetto sono realizzate presso i nostri Laboratori e coordinate da personale afferente al Dipartimento. Un progetto PRIN supporta questi studi che consentiranno di arrivare entro il 2021 al Technical Design Study di CUPID per poi procedere alle fasi di costruzione dell'esperimento, a partire dal 2020 per circa 5 anni.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.35 – Partecipazione all'esperimento JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory) in Cina

Obiettivo specifico: studio delle proprietà del neutrino attraverso la rivelazione di antineutrini e neutrini emessi da reattori nucleari e da sorgenti naturali (sole, supernovae, geoneutrini, etc.), con l'obiettivo principale di misurare la gerarchia fra gli autostati di massa dei neutrini.

Descrizione: JUNO è il più grande osservatorio sotterraneo di neutrini mai realizzato. È costituito da 20 kton di scintillatore liquido contenuti in una sfera di acrilico di 35 m di diametro, a sua volta circondata da circa 18000 fototubi da 20" per la lettura della luce. È attualmente in costruzione nella provincia di Guandong, nella Cina meridionale, e l'inizio della presa dati è previsto per la fine del 2022. L'esperimento JUNO mira a determinare la gerarchia di massa dei neutrini tramite lo studio dell'interazione per decadimento beta inverso (IBD) di fasci di antineutrini provenienti da due impianti nucleari, posti ad una distanza di 53 km dal sito dell'esperimento. Tale distanza è ottimizzata per ottenere la massima sensibilità alla gerarchia di massa tramite la misura precisa della curva di oscillazione degli antineutrini elettronici emessi dalle centrali nucleari con una risoluzione energetica del 3% a 1 MeV, senza precedenti per questo tipo di rivelatore. JUNO, grazie alla sua enorme massa, all'elevata

risoluzione energetica e alla capacità di ricostruzione spaziale degli eventi, sarà inoltre in grado di effettuare con altissima precisione molte altre misure di interesse per la fisica del neutrino, fra cui la rivelazione di neutrini solari, di neutrini emessi da supernovae, di neutrini atmosferici e di geoneutrini. Le attività di Milano-Bicocca, in questa fase di costruzione dell'esperimento, vertono sul controllo del fondo radioattivo di JUNO, da una parte misurando con elevatissime sensibilità e tecnologie all'avanguardia i contaminanti in traccia nei materiali necessari alla realizzazione del rivelatore e dall'altra coordinando i vari gruppi di ricerca internazionali coinvolti nelle azioni atte sia a garantire la massima radiopurezza nelle fasi di produzione e costruzione del rivelatore, sia a ridurre ai minimi livelli i contributi della radioattività ambientale. Il gruppo di Bicocca, inoltre, si occupa di valutare, tramite simulazioni Monte Carlo, l'impatto delle varie contaminazioni sulla sensibilità sperimentale. In parallelo, il gruppo si occupa di caratterizzare con alta precisione, tramite simulazioni e benchmark sperimentali, i flussi di neutrini emessi dai reattori nucleari di potenza, che saranno la sorgente principale di JUNO.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.36 – Partecipazione all'esperimento DUNE al Fermilab - misura delle proprietà dei neutrini (violazione di CP, gerarchia di massa, parametri di mixing) e fisica astro-particellare
Obiettivo Specifico: studio della violazione di CP e della gerarchia di massa nei neutrini, ricerca del decadimento del protone e fisica multi-messenger con neutrini da sorgenti naturali.
Descrizione: DUNE è l'esperimento <i>flagship</i> della fisica delle particelle elementari negli Stati Uniti e il più ambizioso progetto di fisica del neutrino agli acceleratori per il prossimo ventennio. È basato su un fascio di 1.2 MW prodotto dagli acceleratori del Fermilab che genera neutrini puntanti verso il South Dakota (laboratorio sotterraneo SURF). È basato su una tecnologia proposta da C. Rubbia nel 1977 e sviluppata in Italia da diversi membri del Dipartimento. A partire dal 2019, Il Dipartimento di Fisica di Milano-Bicocca, è responsabile della costruzione del sistema di rivelazione dei fotoni prodotti in Argon Liquido (Photon Detection System - PDS) e, in particolare, dei fotosensori criogenici e della loro elettronica. Coordina, inoltre, tutte le Università ed Enti di ricerca italiani coinvolte nel PDS. Il PDS di DUNE, infatti, permette di identificare con grande precisione la posizione degli eventi di neutrino originati dal fascio del Fermilab e di osservare i neutrini provenienti da esplosioni di supernovae o prodotti nell'atmosfera terrestre. A tal fine, il Dipartimento ha stretto accordi con centri di ricerca (Fondazione Bruno Kessler), aziende ad alto contenuto tecnologico (Glass-to-Power, Lfoundry) per lo sviluppo di rivelatori di fotoni innovativi pensati sia per applicazioni scientifiche sia industriali. Si avvia inoltre a realizzare un laboratorio dedicato in U19 per i fotosensori criogenici che sarà operativo nel 2023. Il gruppo DUNE di Milano-Bicocca è coinvolto anche nella simulazione del PDS, nella sua prototipazione su grandi scale e nell'analisi dei dati in collaborazione con il CERN e l'INFN.
Cronologia: nuova azione iniziata nel gennaio 2019.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, accordi industriali e/o brevetti.

Azione 2.37 - “HOLMES” misura della massa del neutrino.
Obiettivo specifico: misura diretta della massa del neutrino con una nuova metodologia e mediante sviluppo e costruzione di rivelatori innovativi.

Descrizione: il progetto HOLMES trae spunto dalle ricerche condotte per oltre dieci anni nel Laboratorio di Criogenia del Dipartimento di Fisica. Le competenze e le metodologie acquisite, anche in sinergia con lo sviluppo dei rivelatori criogenici per Cuore, pongono il team di Milano-Bicocca in una posizione di assoluto rilievo mondiale nel campo dei microcalorimetri criogenici. L'esperimento HOLMES, finanziato con un ERC Advanced Grant tra il 2014 e il 2020, ha come obiettivo la misura diretta della massa del neutrino tramite rivelatori innovativi ed è portato avanti da una collaborazione internazionale guidata dal gruppo di Milano-Bicocca. Nei prossimi anni, con il supporto dei finanziamenti provenienti dall'INFN, l'attività di HOLMES nel Laboratorio di Criogenia porterà alla caratterizzazione ad alta statistica dello spettro di emissione dell'isotopo olmio-163 e all'ottimizzazione del processo di inclusione dell'isotopo stesso nei rivelatori. Questi risultati saranno fondamentali per supportare la proposta di un futuro esperimento internazionale che abbia la possibilità di misurare la massa del neutrino.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.38 - Laboratorio di Criogenia per lo sviluppo di rivelatori di radiazione a bassissima temperatura
Obiettivo specifico: sviluppo di rivelatori innovativi a bassa temperatura per la fisica del neutrino e altro.
Descrizione: il laboratorio di Criogenia del Dipartimento di Fisica è un'infrastruttura tra le più avanzate al mondo per lo sviluppo di dispositivi a bassa temperatura per la rivelazione di radiazione in applicazioni di punta, ma non solo. L'attività del Laboratorio è finanziata primariamente dall'INFN, ma sono previsti contributi anche da progetti PRIN. Le attività in corso riguardano rivelatori di luce per esperimenti per la ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini (CUPID), rivelatori di elettroni di bassissima energia per la ricerca del fondo di neutrini cosmici (PTOLEMY), rivelatori ad alta risoluzione ed alta velocità per la fisica del neutrino, rivelatori di raggi X per applicazioni in astrofisica, scienza dei materiali, biologia, archeometria e sicurezza nucleare. Le tecnologie delle bassissime temperature, dei dispositivi superconduttivi e dell'elettronica a microonde sviluppate per i rivelatori di radiazione sono anche elementi chiave delle nuove tecnologie quantistiche. Nel Laboratorio di Criogenia si metteranno a frutto queste competenze per sviluppare amplificatori innovativi utili anche per il controllo di qubit superconduttivi, grazie allo studio di nuovi materiali superconduttori e di metamateriali basati su schiere di giunzioni Josephson. Le diverse attività sono svolte in collaborazione con università ed enti di ricerca italiani ed internazionali.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.39 - Osservazioni di Raggi Cosmici dallo spazio con lo spettrometro AMS
Obiettivo specifico: studio delle componenti cosmiche ad energie fino a 2 TeV con lo spettrometro AMS sulla Stazione Spaziale Internazionale.
Descrizione: lo spettrometro AMS è stato progettato per studiare con grande accuratezza le particelle che arrivano dal cosmo con energie fino a 2 TeV. AMS è stato installato sulla Stazione Spaziale Internazionale nel Maggio 2011 e tra dicembre 2019 e gennaio 2020 è stato riparato

il sistema di controllo termico attraverso una serie di 4 attività extra-veicolari (EVA). Dall'inizio della presa dati AMS ha misurato con estrema precisione lo spettro di diversi ioni e particelle cosmiche, trovando dei comportamenti inattesi. Il gruppo di Milano-Bicocca è tra i più impegnati nell'analisi dei dati e sta contribuendo in modo determinante su diversi fronti, in particolare allo studio dell'andamento col tempo della componente a più bassa energia e agli effetti indotti dalla magnetosfera terrestre e dalla modulazione solare. L'aumento della statistica permetterà di estendere le misure a energia più alta e analizzare le componenti meno abbondanti. I principali argomenti di indagine sono: l'origine dell'eccesso di positroni; la ricerca di segnali da materia oscura nello spettro di positroni e antiprotoni e dallo studio dell'anisotropia; lo studio delle componenti cosmiche ad alta energia; lo studio degli effetti di attività solare e modulazione dei raggi cosmici; lo studio dello space radiation environment.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca.

Azione 2.40 - Sviluppo e utilizzo di strumentazione per la spettroscopia neutronica e di raggi gamma

Obiettivo specifico: realizzazione di uno spettrometro al germanio per misure di bassissime concentrazioni radioattive e di una sorgente di neutroni per esperimenti di interesse in vari ambiti applicativi.

Descrizione: la sorgente a neutroni si basa su una reazione di fusione di isotopi dell'idrogeno. Consentirà di disporre sul posto di tecniche di indagine da abbinare a quelle disponibili presso le maggiori sorgenti di neutroni europee quali la tomografia neutronica, tecniche PGAA e NAA etc., con applicazioni a Beni Culturali, test di strumentazione neutronica, materiali per la fusione termonucleare, sviluppo di nuovi metodi di indagine. Lo spettrometro si basa sull'utilizzo di un cristallo di grandi dimensioni abbinato ad un impianto di raffreddamento elettromeccanico. Il suo uso abbinato alla sorgente di neutroni consentirà misure ad alta sensibilità con applicazioni ai Beni Culturali, alla glaciologia e meteorologia, alla caratterizzazione geochimica delle rocce e, in generale, a tutti gli ambiti che richiedono misure di elevata sensibilità sia per elementi stabili e radioattivi in tracce. La strumentazione sopra citata è stata finanziata come attrezzatura strategica di Ateneo ed è ora in fase di installazione.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: messa in funzione dello strumento; attrazione di finanziamenti da CNR e INFN; presentazioni a conferenze e pubblicazioni su riviste internazionali.

Azione 2.41 - A solid state detector for space-time measurement

Gli esperimenti ai collisionatori adronici richiedono tecniche di rivelazione sempre più avanzate per la discriminazione del segnale. A questo scopo l'idea di potenziare l'informazione temporale fornita dai singoli rivelatori, portandola a livello di qualche decina di picosecondi, sembra essere la strada vincente. Un primo passo in questa direzione è la realizzazione di un rivelatore dedicato, CMS-MTD, la cui informazione temporale viene combinata offline con quella degli altri rivelatori. La nostra proposta è quella di progettare un tracciatore a pixel che associ ad ogni misura spaziale la relativa misura di tempo a livello di ~ 10 ps e presenti una notevole resistenza alla radiazione ($> 2 \times 10^{16}$ neq/cm²). I vantaggi di un tale rivelatore sarebbero molteplici: facilitare il compito del *pattern recognition* rendendolo più veloce (ora di gran lunga collo di bottiglia nella ricostruzione degli eventi), migliorare la risoluzione dei parametri della traccia e del relativo vertice di provenienza, aumentare il potere di reiezione del fondo. Queste

caratteristiche porteranno ad un notevole miglioramento della sensibilità di tutte le ricerche di fisica effettuate ai collisionatori adronici.
Descrizione: la realizzazione di un tale rivelatore presenta delle sfide sia per quanto riguarda la progettazione del sensore, che dell'elettronica di lettura. Al momento sono state individuate due strade possibili, entrambe fanno uso di sensori a stato solido: migliorare la risoluzione temporale del sensore planare aumentandone il guadagno (realizzato dosando opportunamente il profilo di drogaggio nel bulk, Low Gain Avalanche Detector); una seconda strada attacca invece il problema partendo da sensori 3D, in cui il campo elettrico viene reso uniforme tramite una geometria innovativa (invece di realizzare elettrodi colonnari vengono utilizzate delle trench). Oltre a queste proposte vorremmo considerarne una terza, da noi ideata, un sensore a stato solido multi strato. Ovvero un sensore costituito da due strati, uno preposto per la misura spaziale, e un altro a pad, per la misura temporale. Disaccoppiando le due misure è possibile ottimizzare i due sensori, e la relativa elettronica di lettura, in maniera indipendente.
Cronologia: il progetto proposto sarebbe la naturale estensione dell'attività già in corso in collaborazione con personale INFN-MiB. La sua realizzazione è però subordinata agli altri nostri impegni all'interno della collaborazione dell'esperimento CMS al CERN-LHC.
Monitoraggio e verifica: la realizzazione del progetto sarebbe accompagnata da articoli scritti su riviste scientifiche e presentazioni a conferenze dedicati all'argomento.

Azione 2.42: Implementazione del paradigma Open Innovation nell'ambito della costruzione di DUNE
Obiettivo specifico: creare un network di aziende italiane che realizzi tecnologie e prodotti specifici per la rivelazione dei fotoni nel VUV in ambiente criogenico.
Descrizione: nei prossimi 5 anni, il MUR investirà circa 18 milioni di euro per contribuire al più grande progetto mondiale per la fisica del neutrino: l'esperimento DUNE. Il gruppo di Fisica del Neutrino agli Acceleratori gestirà il 20% di questo budget per realizzare il sistema di rivelazione dei fotoni, coordinando il Consorzio internazionale. L'azione verrà implementata secondo il paradigma Open Innovation ed è finalizzato a trasferire le nostre conoscenze specifiche presso i partner industriali affinché acquisiscano ruoli di main vendor nella realizzazione di DUNE e, nello stesso tempo, siano messi in grado di sviluppare nuovi prodotti per il mercato consumer (optoelettronica, energie rinnovabili, controllistica per impianti industriali).
Cronologia: l'inizio del progetto coincide con l'erogazione dei finanziamenti che comincerà nel 2022 e, a seguire, con l'attivazione dei nuovi laboratori in U19.
Monitoraggio e verifica: verifica semestrale dello stato di completamento dei task del Work Breakdown Structure (WBS) relativo all'elettronica del Photon Detection System di DUNE. Le modalità di project management sono quelle standard del Department of Energy degli Stati Uniti (DOE, US). Il lead manager del WBS è il prof. F. Terranova (Unimib).

Azione 2.43 - Laboratorio di Criogenia per lo sviluppo di rivelatori di radiazione a bassissima temperatura e delle tecnologie quantistiche
Obiettivo specifico: sviluppo di rivelatori avanzati a bassa temperatura per la fisica astroparticellare e delle tecnologie quantistiche basate su dispositivi superconduttivi.
Descrizione: il laboratorio di Criogenia del Dipartimento di Fisica è un'infrastruttura tra le più avanzate al mondo per lo sviluppo di dispositivi a bassa temperatura per la rivelazione di radiazione in applicazioni di punta, ma non solo. L'attività del Laboratorio è finanziata

primariamente dall'INFN, ma sono previsti contributi anche da progetti PRIN. Le attività in corso riguardano rivelatori di luce per esperimenti per la ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini (CUPID), rivelatori di elettroni di bassissima energia per la ricerca del fondo di neutrini cosmici (PTOLEMY), rivelatori ad alta risoluzione ed alta velocità per la fisica del neutrino, rivelatori di raggi X per applicazioni in astrofisica, scienza dei materiali, biologia, archeometria e sicurezza nucleare. Le tecnologie delle bassissime temperature, dei dispositivi superconduttivi e dell'elettronica a microonde sviluppate per i rivelatori di radiazione sono anche elementi chiave delle nuove tecnologie quantistiche. Nel Laboratorio di Criogenia si metteranno a frutto queste competenze per sviluppare amplificatori innovativi utili anche per il controllo di qubit superconduttivi, grazie allo studio di nuovi materiali superconduttori e di metamateriali basati su schiere di giunzioni Josephson. La ricerca nel campo delle tecnologie quantistiche nel Laboratorio di Criogenia è supportata dall'Ateneo nell'ambito del piano straordinario RTD-B. Le varie attività sono svolte in collaborazione con università ed enti di ricerca italiani ed internazionali.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, coinvolgimento di partner industriali.

Azione 2.44 - Caratterizzazione di fasci neutronici per lo studi di danni e contaminazioni indotte da irraggiamento

Obiettivo specifico: caratterizzazione dei flussi neutronici di una o più facility di irraggiamento dove sia possibile esporre campioni di materiali in cui studiare il danno indotto, inclusa la creazione di radiocontaminanti.

Descrizione: i dispositivi elettronici, quando esposti a flussi di radiazioni subiscono diversi tipi di danno che vanno dalla perdita di performance, all'alterazione dell'informazione contenuta nella memoria hardware, fino al danneggiamento permanente del componente. Questa problematica è estremamente sentita in campi che vanno dall'industria aerospaziale alla ricerca di base o applicata che fa uso di acceleratori di particelle o sorgenti di radiazioni ionizzanti (p.es. in campo medico-diagnostico). Più in generale in tutti i materiali esposti ad alti flussi di radiazione possono crearsi, per trasmutazione nucleare, isotopi radioattivi che costituiscono impurezze indesiderate e dannose. L'identificazione di questi isotopi e la misura sperimentale della sezione d'urto di produzione è di estremo interesse per tutte le applicazioni che richiedono grande radiopurezza dei materiali (p.es. gli esperimenti di ricerca di eventi rari o le Quantum Technologies). In questo campo il passaggio attraverso misure sperimentali, usando fasci di neutroni con energie e flussi ben conosciuti, è obbligatorio perchè consente sia di stimare l'effettiva entità del danno/attivazione sia di valutarne gli effetti sulle caratteristiche dei materiali. Le facility di irraggiamento sono basate su reattori nucleari o acceleratori di particelle e hanno una problematica comune: la difficoltà di conoscere il flusso e l'energia dei neutroni nella posizione spaziale e temporale specifica in cui è posto il campione. L'obiettivo di questo progetto è l'ottimizzazione e standardizzazione di una metodologia, già stata proposta e testata con successo, che consente un accurato campionamento dei fasci neutronici mediante simultanea esposizione di vari target di riferimento e successiva ricostruzione con analisi multivariata. Il gruppo di ricerca è stato già coinvolto nel recente passato nella caratterizzazione di facilities di irraggiamento al Rutherford Appleton Lab (UK), all'ENEA Casaccia, al LENA di Pavia oltre ad aver preso parte a progetti riguardanti gli acceleratori dell'INFN. Il laboratorio di appoggio a Milano-Bicocca è quello di Radioattività del Dipartimento di Fisica. La metodologia di caratterizzazione dei fasci neutronici ottimizzata in questo progetto potrebbe essere di grandissimo interesse anche per programmi di diversi enti internazionali (ISS, ESS, CERN, INFN, ...) con ingenti investimenti in nuove facilities di irraggiamento atte a

condurre test e caratterizzazioni di dispositivi. Una possibile evoluzione del progetto, realizzabile nel triennio purché si reperiscano sufficienti risorse, prevede la caratterizzazione di materiali irraggiati e di interesse per l'industria aerospaziale appoggiandosi ai Laboratori di Elettronica del Dipartimento di Fisica o la caratterizzazione di celle solari in collaborazione con il Dipartimento di Scienze dei Materiali.

Cronologia: azione da avviare nel 2021.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di collaboratori e fondi per la ricerca, coinvolgimento di partner industriali.

Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Azione 2.45 - Attività di ricerca in teoria dei campi e delle stringhe
Obiettivo specifico: attività alla frontiera della ricerca in teoria dei campi e delle stringhe
Descrizione: studio dei meccanismi di base delle interazioni fondamentali, inclusa la gravità a piccole distanze. Studio di sistemi fisici con difetti e bordi, di rilevanza per la cosmologia (buchi neri), sistemi di materia condensata (sistemi con impurità, entanglement, transizioni di fase quantistiche), nonché per lo sviluppo di metodologie olografiche (corrispondenza gauge/gravità). Le attività di ricerca coinvolgeranno la teoria quantistica dei campi, la gravità quantistica, le teorie di gauge, la supersimmetria e la teoria delle stringhe e si svolgeranno attraverso una fitta rete di collaborazioni internazionali. Per gli anni 2021-2023 saranno finanziate dall'Iniziativa Specifica Nazionale GGS dell'INFN, e in parte dal progetto PRIN-2017).
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di ulteriori finanziamenti, collaborazioni internazionali.

Azione 2.46 - Attività di ricerca in teoria dei campi del Modello Standard
Obiettivo specifico: attività alla frontiera della ricerca in campo internazionale in teoria dei campi del Modello Standard, in sue estensioni e in teorie efficaci.
Descrizione: studio delle interazioni elettrodeboli e forti alle scale di energia accessibili sperimentalmente negli attuali collisori e in quelli di prossima generazione. Studio e simulazione di scattering di alta energia nel Modello Standard e sue estensioni, e di problemi specifici di fenomenologia dei collisori adronici. Calcolo di processi con complessità e con precisione maggiore di quella attuale. Fornire ulteriori strumenti alla comunità sperimentale per la simulazione e interpretazione dei dati sperimentali. Il gruppo ha sviluppato un metodo (POWHEG) per interfacciare gli algoritmi di shower con i calcoli all'ordine next-to-leading in QCD, divenuto strumento fondamentale per le simulazioni usate dai fisici sperimentali a LHC. Più recentemente, membri del gruppo hanno esteso questo approccio al next-to-next-to-leading order in QCD (NNLOPS e GENEVA) ed incluso la possibilità di descrivere la produzione di risonanze (POWHEG-BOX-RES) e correzioni elettrodeboli. Le attività sono portate avanti in stretta collaborazione con i membri degli Collaborazioni sperimentali ATLAS e CMS a LHC, e sono finanziate dall'Iniziativa Specifica Nazionale dell'INFN QFT@COLLIDERS e dall'ERC-StG-2016 "Reinvent".
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di ulteriori finanziamenti, collaborazioni internazionali.

Azione 2.47 - Attività di ricerca in teoria dei campi non-perturbativa del Modello Standard ed oltre
Obiettivo specifico: attività alla frontiera della ricerca in campo internazionale in teoria dei campi non-perturbativa, Cromodinamica Quantistica (QCD) e fisica del sapore.
Descrizione: studio delle teorie di campo quantistiche nel regime non-perturbativo. Uso delle metodologie sviluppate per il calcolo del momento magnetico anomalo del muone nel Modello Standard (SM), di elementi di matrice non-perturbativi rilevanti per la fisica del sapore nel SM ed oltre, di parametri fondamentali del SM come la costante di accoppiamento delle interazioni forti e le masse dei quark, dell'Equazione di Stato della QCD a temperatura finita e di altre proprietà del plasma di quark e gluoni. Sviluppo di tecniche di rinormalizzazione non-

perturbativa in teoria di campo. Creazione e sviluppo di nuovi algoritmi numerici per la simulazione delle teorie di campo quantistiche su HPC anche con tecniche di intelligenza artificiale (AI). Le attività saranno finanziate per gli anni 2021-2023 attraverso l'Iniziativa Specifica Nazionale dell'INFN QCDSLAT di cui un membro del gruppo è coordinatore nazionale. Il gruppo riceve con regolarità anche finanziamenti da progetti speciali INFN in fisica computazionale.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di ulteriori finanziamenti, collaborazioni internazionali.

Azione 2.48 - Sviluppo di algoritmi per sistemi HPC pre-exascale/exascale

Obiettivo specifico: sviluppare algoritmi altamente parallelizzabili per la simulazione di teorie quantistiche su sistemi di High Performing Computing (HPC) con potenza pre-exascale/exascale.

Descrizione: verranno ideati, ottimizzati ed implementati algoritmi Monte Carlo innovativi scalabili su sistemi HPC pre-exascale/exascale per la simulazione di teorie di campo quantistiche formulate su un reticolo spazio-temporale.

Gli ingredienti fondamentali per un parallelismo così spinto sono la località della teoria, la sparsificazione delle matrici coinvolte e la loro decomposizione mediante l'identificazione di opportuni domini sovrapposti e non.

I nuovi sistemi HPC pre-exascale/exascale che verranno installati in Europa nel prossimo triennio, questi algoritmi di nuova generazione, e le risorse programmate dal Dipartimento per la Fisica Teorica, permetteranno di attaccare problemi di Fisica delle Interazioni fondamentali di frontiera che ad oggi non è stato possibile risolvere. Appare molto promettente anche un'attività di ricerca interdisciplinare che trasferisca queste competenze algoritmiche e di supercalcolo proprie dalla Fisica Teorica Computazionale e dall'HPC all' Artificial Intelligence. Eventuali risorse che si vogliano dedicare a questo ambito di ricerca permetterebbero un arricchimento piuttosto naturale delle competenze del gruppo di Fisica Teorica Computazionale di Bicocca.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.

Monitoraggio e verifica: pubblicazioni di articoli su riviste internazionali; seminari a conferenze internazionali; progetti vincitori di bandi competitivi internazionali per tempo macchina su sistemi di HPC Europei.

Ricerche intradipartimentali

Azione 2.49 Progetto FAST

Obiettivo specifico: FAST è il progetto finanziato dall'ateneo per lo sviluppo di rivelatori ad elevata risoluzione temporale in diversi settori di ricerca in cui il Dipartimento di Fisica è attivo.

Descrizione: Il gruppo di Biofotonica ha proceduto all'acquisto di un sistema di acquisizione a singolo fotone per misure risolte in tempo su cellule con risoluzione ottica ($0.4 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$). Il sistema permette di effettuare esperimenti di imaging ottico in tempo di vita della fluorescenza di componenti molecolari intracellulari e consente di studiare sia il metabolismo cellulare in-vivo sia le dinamiche intracellulari (diffusive e attive). Il sistema, attualmente in fase di caratterizzazione, raggiunge risoluzioni temporali nella misura dei tempi di vita molecolari di circa 300 ps, limitate dall'utilizzo di sensori H-ibrid-PMT. Attualmente è in fase di sviluppo, in collaborazione con il Laboratorio di Elettronica della Sezione INFN, un nuovo sistema di lettura ad alte risoluzioni temporale e spaziale basato su array di rivelatori SPAD integrati su matrici di piccole dimensioni (3×3 o 4×4), da accoppiare al sistema di scansione ottico già in uso nel laboratorio. Le applicazioni saranno nell'ambito della Patologia Digitale assistita da metodi di Machine Learning e nel campo della Metabolomica in vivo per la ricerca sui tumori.

Per quanto riguarda la fisica sperimentale delle particelle al collisore LHC (CERN, Ginevra) la collaborazione scientifica con la Fondazione Bruno Kessler (FBK) ha consentito lo sviluppo, nell'ambito del progetto FAST, di una tecnologia innovativa per i fotorivelatori al silicio (SiPM), che verranno utilizzati dal rivelatore MIP Timing Detector nella collaborazione CMS. L'evoluzione della tecnologia FBK-NUV-HD, grazie ad un ridotto spessore dello strato epitassiale, un profilo di drogaggio del silicio ottimizzato e una struttura più compatta delle microcelle ha consentito di realizzare un sensore con migliore resistenza alle radiazioni e più alta efficienza. Il processo di ricerca e sviluppo con FBK ha consentito inoltre di sviluppare la tecnica di packaging con cui singoli fotosensori sono montati su un substrato di materiale ceramico a formare matrici lineari (array) da 16 canali indipendenti. Tali array di SiPM sono oggetti con specifiche stringenti dettate dalle condizioni di lavoro estreme a cui saranno sottoposti nella presa dati al collisore, quali la necessità di sopravvivere ad alte fluenze e gradienti termici fino a $\sim 100^\circ\text{C}$. I sensori sono attualmente in fase di test presso i laboratori del CERN e saranno caratterizzati su fascio all'acceleratore SPS del CERN nel 2021.

Il progetto FAST sta avendo un impatto molto significativo anche sulla fisica sperimentale del neutrino. Grazie all'accordo di collaborazione scientifica tra il nostro Ateneo e la Fondazione Bruno Kessler (FBK), il gruppo di Fisica del neutrino è stato in grado di proporre una soluzione fortemente innovativa per i fotosensori in ambiente criogenico nel vicino ultravioletto: la tecnologia NUV-HD-CRYO-TT, basata sulla tecnologia proprietaria FBK potenziata dai Triple Trench (TT) in diossido di silicio. Questa tecnologia ha portato ad un miglioramento sostanziale del rumore correlato e della risoluzione temporale alla temperatura di 87 kelvin e rappresenta uno dei migliori candidati per il rivelatore di fotoni dell'esperimento DUNE. In parallelo la tecnologia FBK RGB-HD è stata adattata per l'esperimento ENUBET, approvato dal CERN nell'Aprile del 2019 (NP06/ENUBET) e ha portato il Photon Veto di ENUBET a una risoluzione temporale migliore di 400 ps. Questa attività continuerà nel prossimo biennio. I fotosensori FBK verranno caratterizzati al CERN nel Run II dell'esperimento ProtoDUNE, dedicato al nuovo Photon Detection System, sotto il coordinamento tecnico di fisici del nostro Dipartimento. Inoltre il Dimostratore di NP06/ENUBET (una frazione a scala 1:1 del tunnel strumentato) verrà validato nella East Experimental Area del CERN nel corso del 2022.

Nell'ambito del progetto FAST il gruppo di Fisica dei Plasmi ha sviluppato rivelatori ad elevate risoluzioni temporali, basati sulla tecnologia GEM (Gas Electron Multiplier), per le future sorgenti di neutroni a spallazione come ESS (European Spallation Source). Agli sviluppi del

rivelatore si è accompagnato quello dell'elettronica di lettura, basata sul chip GEMINI, per raggiungere conteggi di molti MHz sull'area attiva. Un prototipo di rivelatore GEM è stato caratterizzato presso la sorgente a spallazione ISIS ai laboratori del RAL (Rutherford Appleton Laboratory) ed è destinato all'utilizzo in esperimenti per la misura di sezioni d'urto di campioni organici (aminoacidi) che richiedono ottime risoluzioni temporali.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nei prossimi due anni.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di ulteriori finanziamenti, collaborazioni internazionali.

Azione 2.50 Progetto PIGNOLETTO

Obiettivo specifico: PIGNOLETTO si propone di realizzare un sistema di analisi multiscala delle caratteristiche dei suoli e dell'ambiente, basato sulla combinazione delle tradizionali misure elettromagnetiche di campo con misure ottenute da sensori aviotrasportati (i.e. radiazioni ionizzanti di tipo gamma, iperspettrali ottici, multispettrali termici), informazioni satellitari (PRISMA e Copernicus) e indagini di prossimità.

Descrizione: PIGNOLETTO si propone di mettere a sistema le competenze presenti in Lombardia nei settori aerospazio e agroalimentare per la costituzione di un HUB tecnologico con proiezione internazionale nel campo dello sviluppo e dell'utilizzo di sistemi di monitoraggio del territorio mediante dispositivi a pilotaggio remoto (veicoli "unmanned", terrestri, avionici e satellitari). Nello specifico, PIGNOLETTO si propone di realizzare un sistema di analisi multiscala delle caratteristiche dei suoli e dell'ambiente, basato sulla combinazione delle tradizionali misure elettromagnetiche di campo con misure ottenute da sensori aviotrasportati (i.e. radiazioni ionizzanti di tipo gamma, iperspettrali ottici, multispettrali termici), informazioni satellitari (PRISMA e Copernicus) e indagini di prossimità. PIGNOLETTO concentrerà il suo sviluppo su: 1) Messa a punto di strategie per la generazione di mappe di caratteristiche dei suoli e della copertura vegetale a partire da dati multisorgente 2) progettazione, sviluppo e sperimentazione di sensori imbarcabili su piattaforme UAV (Unmanned Aerial Vehicle) e sistemi robotici terrestri. PIGNOLETTO richiede l'integrazione di competenze che spaziano da sviluppi di sistemi avionici e satellitari, rivelatori di particelle, nuovi materiali, strategie innovative in campo agricolo/ambientale a sofisticate tecnologie computazionali per il trattamento dei dati e la gestione delle flotte di veicoli "unmanned". Questo permetterà di estrapolare informazione chiave a partire per esempio dalla conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo (es. concentrazione di specifici radionuclidi come K e Cs) per valutare la fertilità piuttosto che le caratteristiche della vegetazione o l'impatto del traffico veicolare. Nell'ottica multi-piattaforma particolare attenzione sarà posta all'interoperabilità tra i differenti domini di osservazione e alle attività di Ricerca Industriale per realizzare strumenti di imaging e sensori ad elevate prestazioni, non solo dal punto di vista morfologico, ma anche in termini di analisi delle caratteristiche chimico-fisiche. Infine ci si propone di realizzare applicazioni in campo agricolo sfruttando l'HUB PIGNOLETTO per implementare le azioni di Agricoltura di Precisione. Le attività di sviluppo sperimentale saranno dirette ad applicare le informazioni derivanti dai sistemi di integrazione dei dati su contesti agricoli per i) definire protocolli di gestione del suolo monitorando oltre che la geomorfologia anche le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche; ii) valutare le peculiarità dei suoli lombardi anche in relazione alla tipologia di coltura agricola e alla copertura vegetazione; iii) realizzare sistemi di tracciabilità di origine e valorizzazione delle qualità soprattutto in aree di pregio come quello vitivinicolo.

Cronologia: azione già in corso, proseguimento nei prossimi due anni.

Monitoraggio e verifica: presentazioni a conferenze, pubblicazioni su riviste internazionali, attrazione di ulteriori finanziamenti, collaborazioni internazionali.

3. Terza Missione

Presentazione

Nello scorso triennio, il Dipartimento si è molto impegnato per favorire l'applicazione diretta, la valorizzazione e l'impiego della conoscenza e per contribuire allo sviluppo sociale, culturale ed economico della Società, in linea col Piano Strategico di Ateneo. Gli obiettivi sono stati perseguiti tramite una strategia coordinata con sforzi distribuiti lungo tutta la filiera della Terza Missione che include lo sviluppo di conoscenze importanti per il progresso della Società, la formazione di studenti qualificati da inserire nel mondo produttivo e la comunicazione esterna dei risultati ottenuti per poter aumentare le attività già in essere e favorirne di nuove. L'attività di Terza Missione si è quindi attuata per tramite di trasferimento sia di conoscenze sviluppate nel Dipartimento che di personale altamente qualificato formato nel Dipartimento.

Le conoscenze gestite nell'ambito della Terza Missione sono sviluppate sia con progetti di ricerca interni al Dipartimento, sia nell'ambito di collaborazioni con partner industriali o centri di ricerca sia italiani che stranieri. Sono stati anche stabiliti accordi intra-Ateneo e con enti esterni per fornire servizi a sportello. Parallelamente vengono valorizzate l'insieme delle conoscenze possedute dai ricercatori, trovandone un impiego nella Società, tramite azioni che coinvolgono direttamente il mondo produttivo e creano sinergie con diverse imprese. I settori che principalmente operano in questa attività sono quelli relativi alle applicazioni della fisica alla medicina e all'ambiente, dell'elettronica, e dei plasmi con particolare riferimento al trattamento delle superfici.

Unitamente allo sfruttamento delle conoscenze già possedute e di quelle sviluppate, vengono anche formati giovani laureati. La loro formazione si svolge per tramite di diversi mezzi. Innanzitutto, gli studenti sono coinvolti nei suddetti progetti di ricerca e sviluppo di conoscenze di interesse applicativo, in posizioni di crescente responsabilità perché possano accrescere le loro competenze tecniche e di gestione dello sviluppo tecnologico. Inoltre, gli stessi studenti sono resi via via protagonisti nelle attività di comunicazione scientifica, sia verso i partner della ricerca sia favorendone la partecipazione attiva e diretta a eventi e a congressi scientifici. L'esposizione di studenti altamente qualificati alle ditte partner di R&D e non, permette di creare e aumentare gli sbocchi occupazionali degli stessi.

Infine, il Dipartimento è impegnato nell'attività di divulgazione e comunicazione dei risultati ottenuti, dando dimostrazione del metodo e del progresso scientifico. Molto importante è quindi la massiccia partecipazione a diverse iniziative volte alla disseminazione dell'attività di ricerca e alla diffusione della cultura scientifica (come workshop tematici o la Notte dei ricercatori). Inoltre, crescente attenzione è rivolta alla questione di genere nell'ambito STEM, e in quest'ottica sono organizzati anche eventi all'interno di STEMInthecity, attività promossa dal Comune di Milano.

Azione 3.1 - Valorizzazione dei laureati in Fisica
Obiettivo specifico: organizzazione di attività per valorizzare le competenze acquisite dai giovani laureati in Fisica, favorire la loro crescita professionale e accrescere gli sbocchi lavorativi sia nell'ambito della ricerca (di base o applicata) che in collaborazione con le aziende/enti operanti sul territorio.
Descrizione: per quanto riguarda l'ambito della ricerca, le attività riguarderanno l'integrazione di giovani laureati, dottorandi, assegnisti, nel Dipartimento e nei Centri di Ricerca nazionali ed internazionali (CERN, INFN, CNR, INAF, Università e Centri di Eccellenza), sulle tematiche di ricerca proprie del Dipartimento, promuovendo la loro partecipazione a eventi/congressi scientifici (poster, comunicazioni orali). Inoltre, in collaborazione con il

servizio Job Placement di Ateneo, verranno organizzati dei momenti d'incontro con le aziende/enti operanti sul territorio ed interessate alle specifiche competenze acquisite dai nostri giovani laureati, per cercare di favorire un proficuo incontro tra domanda ed offerta e per illustrare ai laureandi triennali e magistrali le opportunità di impiego presenti in zona.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: numero di presentazioni a congresso fatte dai giovani laureati, numero di incontri con le imprese organizzati specificamente per il Dipartimento.

Azione 3.2 - Disseminazione delle conoscenze e delle competenze
Obiettivo specifico: organizzare azioni volte a realizzare una sinergia tra Università e Impresa a favore della competitività delle aziende e dello sviluppo tecnologico del territorio.
Descrizione: si attueranno attività per la promozione dell'integrazione territoriale lombarda sulle conoscenze sviluppate nel Dipartimento di Fisica con progetti e attività di ricerca e di trasferimento tecnologico. Si utilizzano gli strumenti degli accordi quadro coinvolgendo enti locali e regione Lombardia. Ad esempio, si intende partecipare all'accordo quadro tra Bicocca e comuni di Monza e Brianza per la valorizzazione di tecnologie innovative applicate al tessile.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: utilizzo per prestazioni conto terzi e per trasferimento tecnologico sul territorio.

Azione 3.3- Disseminazione delle attività di ricerca sul territorio
Obiettivo specifico: organizzare azioni di divulgazione e promozione delle attività e dei risultati della ricerca del Dipartimento con il patrocinio o in collaborazione con enti pubblici o privati sul territorio.
Descrizione: si organizzeranno workshop nel Dipartimento su specifiche attività di ricerca in itinere o a conclusione (kick-off meeting e final meeting di progetti finanziati).
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: atti dei convegni organizzati.

Azione 3.4 - Iniziative per la diffusione della cultura scientifica
Obiettivo specifico: progettare e realizzare attività per la diffusione della cultura scientifica, con la collaborazione di enti pubblici sul territorio e collegamento a progetti internazionali.
Descrizione: si stimolerà la partecipazione dei gruppi di ricerca ad eventi di diffusione della cultura scientifica, quali la Notte dei Ricercatori o gli incontri informali (aperitivi scientifici) organizzati dall'Associazione Italiana Studenti di Fisica (AISF).
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: numero di eventi realizzati, numero di visitatori, monitoraggio del gradimento ed efficacia delle mostre.

Azione 3.5 – Attività di divulgazione scientifica e contrasto agli stereotipi di genere nella Scienza
Obiettivo specifico: avvicinare alla Scienza alunni e alunne della scuola primaria e studenti e studentesse delle scuole medie inferiori e superiori, stimolare il loro interesse per il mondo della ricerca, e, contemporaneamente, contrastare gli stereotipi di genere che scoraggiano le donne ad intraprendere studi universitari nelle discipline STEM.

Descrizione: verranno organizzati interventi nelle scuole lombarde tenuti da docenti donne del Dipartimento che, attraverso queste attività, offriranno un esempio di leadership al femminile nella Scienza. Per la scuola primaria le attività si articoleranno in piccoli esperimenti e giochi scientifici, uniti a racconti relativi alle grandi scoperte effettuate da scienziate del passato. Per la scuola secondaria verranno offerti seminari su argomenti alla frontiera delle conoscenze scientifiche, utilizzando lo strumento del tutoraggio seminariale.
Cronologia: azione già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio della soddisfazione degli studenti. Monitoraggio del numero di nuovi iscritti a CdS di Fisica nell'area lombarda, divisi per genere.

Azione 3.6 - Iniziative per le pari opportunità
Obiettivo specifico: organizzare iniziative a favore delle pari opportunità e contro ogni forma di discriminazione a supporto di studenti/studentesse e del personale del Dipartimento.
Descrizione: verrà istituita una commissione di Dipartimento per l'inclusività e le tematiche di genere che avrà il compito di proporre ed organizzare attività a supporto delle pari opportunità. In collaborazione con enti esterni, verranno istituite borse di studio per le migliori tesi di laurea magistrale presentate da studentesse dei CdS del Dipartimento. In coordinamento col CUG di Ateneo, verrà organizzato uno spazio d'ascolto sul sito del Dipartimento per raccogliere eventuali segnalazioni di disagio e discriminazione e suggerire il modo più efficace per denunciarli. Verrà svolta un'attività di sensibilizzazione continua per l'uso di un linguaggio corretto e rispettoso del genere, sia nell'Amministrazione che in qualunque consesso istituzionale. Verrà avviata una campagna per dotare i locali del Dipartimento dei servizi necessari alle studentesse e al personale femminile.
Cronologia: azioni parzialmente già in corso, proseguimento nel triennio.
Monitoraggio e verifica: monitoraggio della soddisfazione degli utenti. Monitoraggio degli atti amministrativi.

4. Risorse Umane

La crescita qualitativa e quantitativa del dipartimento si fonda su una politica di reclutamento fatta di tre pilastri:

1) Il consolidamento e rinnovamento degli indirizzi di ricerca presenti nel dipartimento mediante il reclutamento di giovani ricercatori;

2) L'istituzione di posizioni di professore di prima fascia come opportunità di progressione interne di carriera soggette a verifica del merito mediante concorso;

3) Attrazione di docenti esterni passibili di "chiamata diretta".

Esistono diversi canali di reclutamento di esterni "eccellenti" di cui il Dipartimento ha usufruito in passato ed intende usufruire anche per il futuro:

i) Chiamata diretta di vincitori di progetti ERC

ii) Chiamata diretta di vincitori di Marie Curie Individual Fellowship Global

iii) Reclutamento di vincitori di posti di ricercatore Rita Levi Montalcini

iv) Chiamata diretta di docenti dall'estero

v) Istituzione di posizioni per docenti esterni (a concorso) su temi interdisciplinari

Per tutti questi canali di reclutamento esiste un contributo in punti organico del MUR e/o dell'ateneo che ne assicura la sostenibilità e la piena integrazione con il piano strategico dell'ateneo.

Premessa per la chiamata di docenti esterni è l'attrattività del dipartimento come luogo stimolante dove svolgere in libertà la propria attività di ricerca e di didattica in un clima che concilia solidarietà ed emulazione. È essenziale per questo il continuo miglioramento della reputazione internazionale del dipartimento e dell'ateneo.

Per il futuro il dipartimento intende proseguire con una politica di reclutamento fondata sui tre pilastri suddetti, che può essere programmata limitatamente al reclutamento dei giovani e alle progressioni di carriera. Le azioni sotto elencate aspirano a mantenere il giusto equilibrio tra professori di prima fascia, professori di seconda fascia e ricercatori TD di tipo A e B. Contribuirà al contenimento del rapporto $PO/(PA+PO)$ il passaggio a PA di un considerevole numero di RTD-B.

Un discorso a parte è necessario per quanto riguarda il reclutamento di personale tecnico. La fisica è una scienza sperimentale, ancorché a forte contenuto teorico. Il progresso delle attività di ricerca e didattica richiede un supporto significativo di personale tecnico di laboratorio.

Nell'ultimo decennio il numero di tecnici afferenti al dipartimento è sceso da 14 a 9 unità. E' necessario contrastare questa deriva prevedendo l'istituzione di nuove posizioni, sia in relazione alle nuove attività di ricerca che il dipartimento prevede di intraprendere nel prossimo futuro, sia in risposta alla crescente necessità di competenze trasversali al dipartimento.

Azione 4.1: Reclutamento di Professori di I fascia

Cronologia:

2021

- 1 posizione FIS/02 per Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/04 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/05 per Astrofisica

2022

- 1 posizione FIS/04 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

2023

- 1 posizione FIS/05 per Astrofisica

Azione 4.2: Reclutamento di Professori di II fascia

Cronologia:

2021

- 1 posizione FIS/03 per Fisica dei Plasmi, riservata ad esterni all'Ateneo

Azione 4.3: Reclutamento di Ricercatori a Tempo Determinato di tipo B

Cronologia:

2021

- 1 posizione FIS/05 per Astrofisica
- 1 posizione FIS/04 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione ING-INF/01 per Elettronica
- 1 posizione FIS/07 per Fisica Applicata
- 1 posizione FIS/02 per Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/01 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

2022

- 1 posizione FIS/02 per Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/03 per Fisica dei Plasmi
- 1 posizione FIS/04 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/05 per Astrofisica

2023

- 1 posizione FIS/01 per Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/02 per Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali
- 1 posizione FIS/05 per Astrofisica
- 1 posizione FIS/07 per Biofisica
- 1 posizione INF/01 o FIS/07 per Fisica Applicata

Azione 4.4: Reclutamento di personale tecnico

Cronologia:

2021

- 1 posizione di tecnico di categoria D per le necessità dei nuovi progetti di astrofisica
- 1 posizione di tecnico di categoria D per supporto ai laboratori didattici di fisica
- 1 posizione di tecnico di categoria D per le necessità dei nuovi progetti per U19

2022

- 1 posizione di tecnico di categoria D per le necessità delle *Quantum Technologies*
- 1 posizione di tecnico di categoria D per le necessità del progetto Bgreen
- 1 posizione di tecnico di categoria D con competenze in elettronica

2023

- 1 posizione di tecnico di categoria D con competenze in informatica
- 1 posizione di tecnico di categoria D con competenze in fisica applicata