

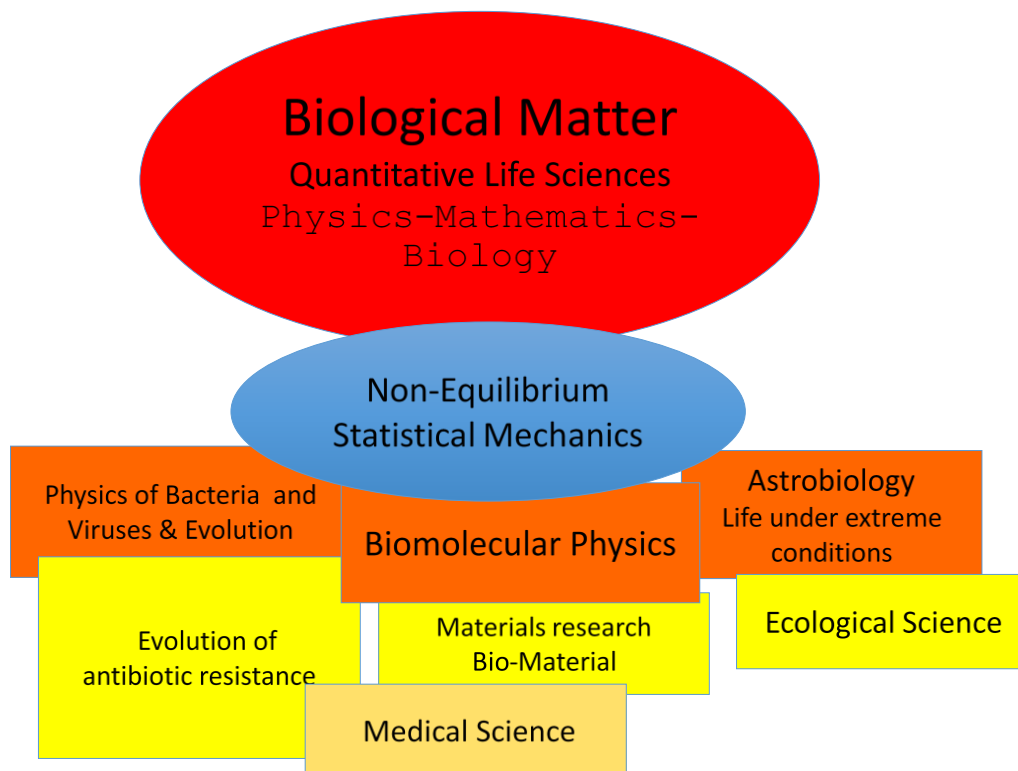
Possibili Prospettive di Sviluppo Strategico per il DFA G. Galilei

Premessa

Vengono qui di seguito descritte alcune attività di ricerca o sinergie tra attività già presenti che si propone di avviare nei prossimi anni. Queste linee di ricerca sono state enucleate sin qui dalla discussione svoltasi nella sotto-commissione ricerca della commissione strategica del DFA, a partire da una prima bozza di documento elaborata da un gruppo di lavoro composto da A. Maritan (presidente), R. Carlin, G. Mattei e S. Matarrese. Questo documento aveva individuato 4 direzioni di ricerca da attivare o rafforzare in DFA: Biological Matter, Big data Science, Elettronica e Quantum Science. Successivamente, la sotto-commissione ricerca ha ulteriormente elaborato questo documento arricchendolo con la parte relativa alla “Fisica dell’Universo”, nelle sue varie diramazioni.

La sotto-commissione ricerca è composta da: S. Matarrese (presidente), D. Bisello, R. Carlin, S. Lenzi, D. Lucchesi, S. Lunardi, F. Mammano, P. Marigo, A. Maritan, M. Mariotti, A. Masiero, M. Matone, G. Mattei, G. Mistura, E. Orlandini, G. Piotto, P. Silvestrelli, F. Simonetto, A. Stella, F. Zwirner.

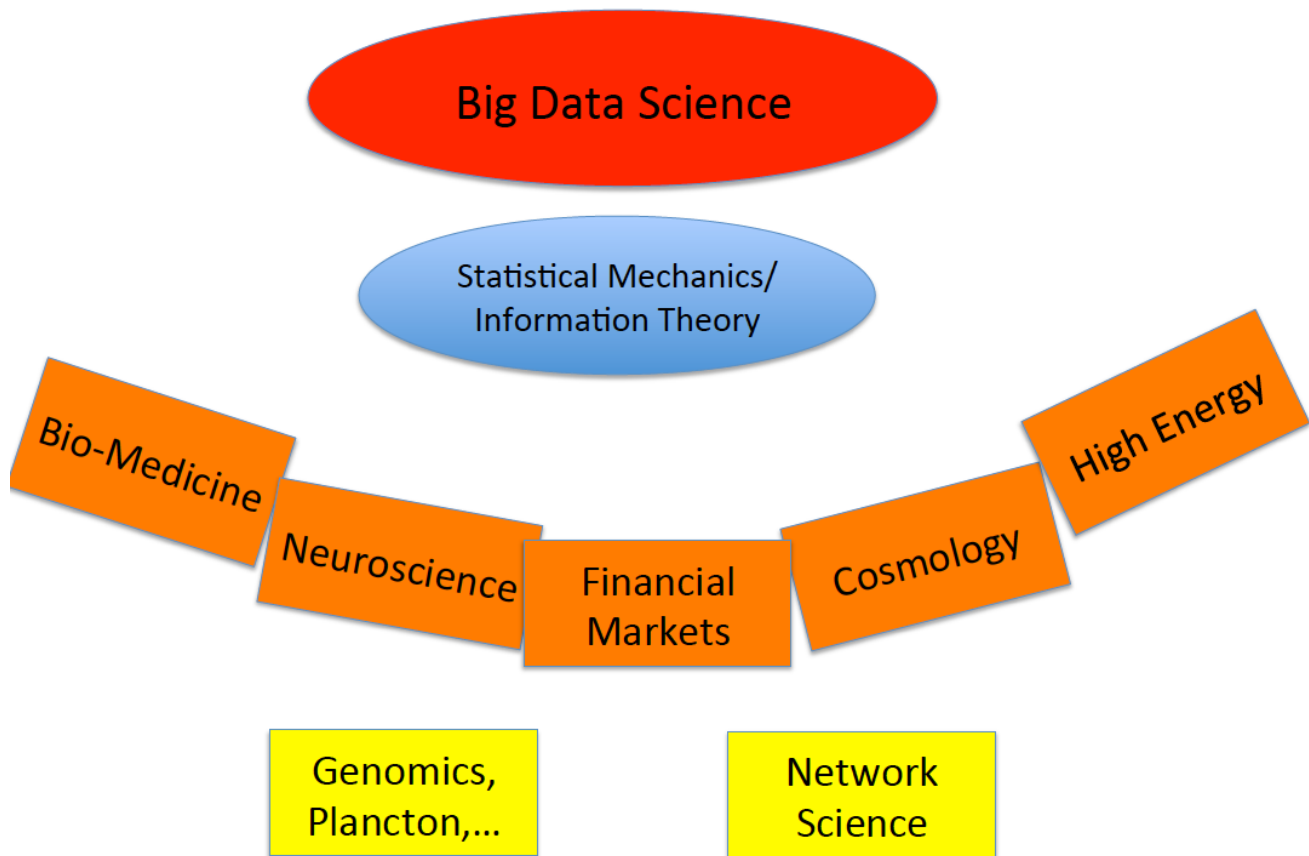
Biological Matter



Nei vari documenti consultati risulta che lo studio della materia biologica e della "quantitative life science" sono considerati dei campi che si stanno sviluppando molto rapidamente. Si sottolinea l'apporto che la fisica (piu' precisamente la meccanica statistica di non equilibrio) e la matematica stanno dando a questi campi non ancora pienamente esplorati. In particolare si enfatizza il contributo che questi studi possono dare al disegno di nuovi materiali "soffici" e ai conseguenti miglioramenti che si possono avere nelle tecnologie e pratiche industriali. L'idea fondamentale è che l'interdisciplinarietà sia l'ingrediente principale per raggiungere risultati rilevanti e che questa vada promossa con assunzioni mirate. Lo schema sopra serve a dare un'idea di come vari campi, che vanno dalla meccanica statistica di non-equilibrio alla scienza medica, possono essere interconnessi. In particolare, si enfatizza il contributo che questi studi possono dare alla progettazione di nuovi materiali "soffici" e ai conseguenti miglioramenti che si possono avere nelle tecnologie e pratiche industriali, anche usufruendo di una più accurata modellizzazione delle interazioni a livello atomico (ad esempio considerando effetti "a molti corpi").

La chiamata di un vincitore di ERC attivo in questo campo può essere vista come un'utile apertura di credito verso questa linea di ricerca.

Big Data Science



Nell'ultima ventina di anni, vari settori nell'ambito delle scienze fisiche, anche al di là dei tradizionali campi di applicazione di questa disciplina, hanno visto un aumento impressionante nella dimensione dei dati ottenuti da esperimenti e osservazioni. Questo fenomeno ha interessato molte e diverse aree di ricerca, quali la bio-fisica, la fisica delle alte energie, la cosmologia e altri settori dell'astrofisica, le neuroscienze, lo studio dei mercati finanziari, etc. ... Il settore della "Data Science" si collega poi naturalmente sia alla meccanica statistica che alla scienza dell'informazione. Questa nuova situazione, che viene definita "Big Data Revolution", ha portato ad un'accuratezza senza precedenti nella determinazione sperimentale dei parametri teorici rilevanti del dato settore di riferimento (come avvenuto, ad esempio in cosmologia, con i vincoli di precisione ottenuti sulle masse dei neutrini) e alla nascita di nuove e promettenti aree interdisciplinari, quali, per fare un esempio, la biologia computazionale. L'era dei "Big Data" ha inoltre prodotto nuove sfide, in relazione alla necessità di immagazzinare e sfruttare una quantità di dati assolutamente senza precedenti.

Grandi moli di dati richiedono, ad esempio, lo sviluppo di metodi di analisi statistica sempre più sofisticati e, al contempo, la soluzione di complessi problemi legati alla ricerca di algoritmi di ottimizzazione e “High-Performance Computing”.

D’altro lato, questa situazione apre nuove opportunità, quali la possibilità di operare “Data Mining” nella ricerca di “pattern” interessanti e nascosti, non necessariamente attesi sulla base della pre-esistente comprensione teorica, nuove aree di ricerca, quali “machine learning”, etc. ...

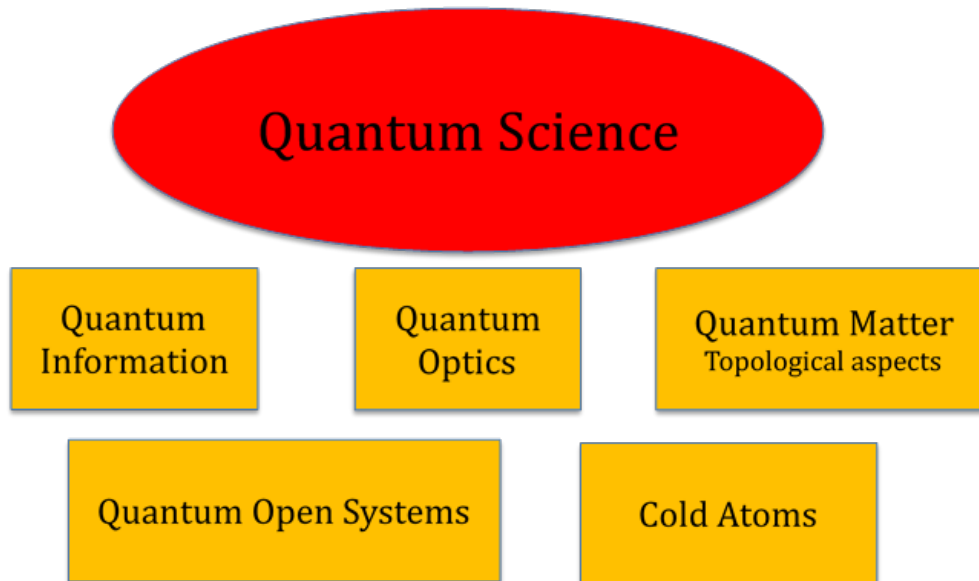
Per affrontare queste nuove opportunità e la sfida che ne consegue, riteniamo sia diventato impellente formare e reclutare scienziati con profili professionali specifici, caratterizzati da una solida conoscenza nei vari campi della fisica coinvolti in questa “rivoluzione” e, al contempo con una conoscenza in profondità delle varie facce della “Data Science”. L’importanza strategica e crescente di questa nuova area di ricerca è d’altra parte sottolineata dalle molte iniziative che vengono portate avanti o sono appena partite in varie sedi universitarie sia in Italia che a livello internazionale. Ad esempio, Torino, Roma La Sapienza, ICTP di Trieste ed altri hanno introdotto corsi, o Master in “Data Science”, “Physics of Complex Systems” o collegati. La nostra idea in questa direzione è quella di creare le opportunità per la chiamata (in una delle forme possibili) di una figura accademica con capacità di leadership di un potenziale nuovo gruppo di ricerca che pur rimanendo nell’ambito dell’area fisica/astrofisica, ambisca a collegare tra loro e rendere sinergiche competenze già esistenti in DFA, di svilupparne alcune squisitamente legate all’immagazzinamento, analisi e sfruttamento di “Big Data” e di attrarre finanziamenti anche a livello europeo, grazie alla sua caratteristica squisitamente interdisciplinare. Tale personalità scientifica (e il gruppo di ricerca ad essa collegato) potrebbe poi avere un ovvio ruolo in ambito didattico, sia a livello della laurea triennale che magistrale, con la prospettiva di attirare ed indirizzare una tipologia di studenti con talenti e aspettative lavorative non necessariamente coperti dalle branche della fisica che ispira il contenuto dei nostri corsi di studio attuali.

Elettronica

Una delle competenze proprie dei fisici, e una delle più multidisciplinari, è la capacità di progettare e realizzare strumentazione di misura (in particolare, ma non solo, rivelatori di radiazione). Per utilizzazioni su scale diverse come grandi esperimenti ai collisori, misure di fisica nucleare, apparati nello spazio, applicazioni di medicina e biologia e molto altro. E attualmente, a strumenti di misura di frontiera (o integrata negli stessi) deve essere associata elettronica di frontiera, anzi molto spesso è proprio l'elettronica che determina il progetto di rivelatori di successo. Proprietà rilevanti nei vari casi sono la velocità, la capacità output di grandi flussi di dati, la resistenza a radiazioni, la micro-integrazione, la capacità di rivelazione di segnali piccolissimi etc. Il Dipartimento di Padova ha una tradizione nell'elettronica e nella sua didattica, che andrebbe rinverdata introducendo competenze leading-edge di microelettronica digitale e analogica, in particolare mirata alle condizioni particolari che devono affrontare gli strumenti di misura. In Dipartimento esistono già competenze di elettronica digitale e analogica, soprattutto in campo INFN, che sono in generale al servizio degli esperimenti. Si tratterebbe di rafforzare la parte accademica con un approccio più generale allo sviluppo di idee e tecnologie di strumentazione elettronica, non necessariamente mirate ad un progetto già definito ma con un approccio aperto al futuro. E soprattutto con la possibilità di tenere corsi ai vari livelli di laurea e dottorato che forniscano agli studenti competenze allo stato dell'arte, utili sia per una carriera di fisico sperimentale, che per un curriculum di alto livello di interesse nelle industrie.

Si potrebbe quindi considerare la chiamata di una persona leader nel campo, che abbia lo scopo di organizzare le competenze già esistenti e promuovere un gruppo di ricerca orientato agli sviluppi di frontiera e multidisciplinari della microelettronica per strumentazione (per esempio ma non solo Terabit links, multilayer VLSI , harsh environment chips), fornendo allo stesso tempo didattica altamente qualificata.

Quantum Science



Lo studio degli aspetti fondamentali della natura quantistica della materia e delle sue interazioni con la radiazione sono considerati strategici in molti settori della ricerca fisica, in vista, da un lato, della comprensione dei fenomeni fisici e chimici su scale dimensionali molto diverse (dal livello molecolare, alla nanoscala fino alla mesoscala), con diversi gradi di complessità e su regimi temporali molto diversi, e, dall'altro, dell'utilizzo di tali fenomeni per ottenere funzionalità pratiche innovative su scala macroscopica. In tal senso, tra i vari settori di interesse (alcuni dei quali menzionati in figura), uno di quelli segnalato come strategico e di maggiore interesse in parecchi Dipartimenti/Istituzioni in tutto il mondo è certamente la 'Quantum Information'. Al momento l'attività di ricerca nel DFA su tale argomento è piuttosto limitata e circoscritta ad aspetti teorici, mentre una consolidata attività sperimentale è presente al DEI. Investire in questo settore dal punto di vista sperimentale richiederebbe per il DFA un considerevole sforzo in termini di spazi (laboratori) e attrezzature al momento solo parzialmente presenti nei gruppi sperimentali di Fisica della Materia. Il rischio ovviamente è una duplicazione rispetto al DEI.

In generale lo studio della materia e dei fenomeni a livello quantistico presenta aspetti di sicuro interesse trasversale ed interdisciplinare tra le aree fisiche presenti in DFA. Quindi si potrebbe certamente produrre un impatto ampio ed interessante tramite il possibile investimento nel reclutamento di un team leader di esperienza internazionale che crei un nuovo gruppo che coaguli ed estenda le esperienze e le competenze presenti in DFA, con una rilevante ricaduta non

solo sul versante ricerca ma anche su quello della didattica.

Va osservato che al momento l'attività di ricerca teorica nel DFA, pur essendo "limitata", è nondimeno di qualità, come dimostrato dai diversi progetti di ricerca finanziati e dagli insegnamenti erogati sia nell'ambito del Dottorato che della Scuola Galileiana. Quindi, partendo da questa base valida, il reclutamento di una persona di alto livello potrebbe permettere un salto di qualità notevole sia per quanto riguarda l'attività di ricerca che la didattica.

L'ottica quantistica offre un nuovo ed importante canale di informazioni anche in ambito astronomico, con lo sviluppo di quella che viene chiamata "astronomia quantistica". Misure di ottica quantistica possono infatti trasportare informazioni su come i fotoni sono stati generati, se sono giunti direttamente all'osservatore, o se ci sono stati dei processi intermedi. Le applicazioni più ovvie riguardano l'emissione da ambienti dove possono svilupparsi processi coerenti (maser, laser) o da oggetti compatti (e.g. stelle di neutroni). Lo studio di questi fenomeni richiede elevata risoluzione temporale, dell'ordine dei nanosecondi, realizzabile da sorgenti brillanti e/o con telescopi di grande dimensione. E' chiaro che la disponibilità di grandi superfici collettrici, come E-ELT o i telescopi del CTA possono offrire interessanti opportunità per il futuro dell'astronomia quantistica.

Physics of the Universe

Physics of the Universe

Astroparticle Physics

Cosmology

Multi-messenger
Astrophysics

Gravitational Physics

High-Energy
Astrophysics

Space Science

Negli ultimi anni è cresciuta la consapevolezza delle molteplici sinergie tra settori di ricerca precedentemente pensati come “mondi separati”. Lo stesso termine “fisica astro-particellare” testimonia della nascita di un vasto settore di ricerca di interesse comune tra la fisica delle particelle elementari o più in generale delle interazioni fondamentali inclusa quella gravitazionale, l’astrofisica delle alte energie e la cosmologia. L’ambito di indagine di questo settore di ricerca copre molteplici aspetti di interesse interdisciplinare: la ricerca diretta, indiretta ed agli acceleratori di candidati particellari per la materia oscura (WIMP, assioni, ...); i test della Relatività Generale, alla ricerca di possibili deviazioni dal paradigma Einsteiniano su varie scale e in vari regimi; lo studio dei modelli fisici per l’inflazione nell’Universo primordiale e per la generazione dell’asimmetria cosmica tra materia e antimateria; il tentativo di comprendere la natura della misteriosa componente di “energia oscura” che contribuisce per circa il 70% al budget energetico attuale del cosmo; la ricerca di un consistente quadro teorico per tutti i fenomeni di cui sopra.

Nell’ambito della fisica astro-particellare la partecipazione padovana alle collaborazioni MAGIC e Fermi-LAT e al progetto CTA, nell’ambito

dell'astronomia gamma, permettono oggi una crescente sinergia con altre aree di ricerca di forte tradizione in area padovana, dalla cosmologia, all'astrofisica delle alte energie fino alla fisica teorica delle interazioni fondamentali.

Un altro ramo attivo della fisica astro-particellare è rappresentato da quella che va sotto il nome di "astrofisica nucleare", presente nell'area padovana con l'esperimento LUNA che vede coinvolto personale di ricerca dell'INFN e specialisti di evoluzione stellare del DFA.

Di fondamentale importanza nella Fisica dell'Universo sono le osservazioni in ambito cosmologico, che forniscono un laboratorio privilegiato per lo studio della fisica delle particelle elementari oltre il "modello standard" (delle interazioni fondamentali), capace di fornirci informazioni su scale di energia inaccessibili ai laboratori terrestri e consentono misure di estrema precisione di parametri di fisica fondamentale, quali massa e numero di specie neutriniche. Tali osservazioni comprendono lo studio del Cosmic Microwave Background (CMB), in temperatura e polarizzazione, le osservazioni relative alla Struttura dell'Universo su Grande Scala (LSS), l'analisi del clustering delle galassie e del lensing gravitazionale, le osservazioni relative a fondi cosmici prodotti da sorgenti extra-galattiche in varie bande spettrali, etc. ...

Un ruolo di estremo rilievo in ambito astro-particellare è svolto dalla fisica dei neutrini, presente in modo significativo nel DFA e nella sezione INFN, anche in relazione a quella che oggi viene chiamata "astrofisica multi-messenger", ovvero l'osservazione congiunta di un dato evento astrofisico per mezzo di una molteplicità di messaggeri cosmici, dai fotoni (in diverse frequenze), ai neutrini ed ora anche alle onde gravitazionali.

Questo aspetto di profonda connessione tra fisica dei neutrini e fisica dell'Universo avrà negli anni futuri un forte impulso, vista la partecipazione padovana negli esperimenti JUNO, HyperK e DUNE. Tali esperimenti permetteranno di studiare le oscillazioni dei neutrino e le proprietà dei neutrini da supernova, da Dark Matter, etc.

Anche le ricerche sul doppio decadimento beta (GERDA, CUORE) che si pongono il quesito se il neutrino sia di Dirac o di Majorana e, più in generale sull'esistenza di processi con violazione del numero leptonic, nonché le ricerche sulla possibile esistenza di neutrini sterili (ICARUS), hanno importanti risvolti cosmologici, ad esempio in relazione al meccanismo per la generazione dell'asimmetria cosmica materia-antimateria.

L'attività in sede nella teoria e nella fenomenologia dei neutrini può fornire importanti contributi alle sinergie in questo campo.

Gli eventi astrofisici di maggiore interesse in questo ambito chiamano inevitabilmente in causa l'astrofisica relativistica delle alte energie e degli oggetti compatti (stelle di neutroni e black-holes).

La fisica della gravitazione entra a vari livelli in questo ramo della scienza: dall'astrofisica delle alte energie, ai test delle teorie alternative della gravità su un ampio range di scale e soprattutto alla fisica delle onde gravitazionali, per quanto attiene sia ai meccanismi di emissione in ambito astrofisico e cosmologico che alla loro rivelazione diretta e indiretta.

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali ha aperto una nuova finestra sull'Universo, inserendole di forza tra i messaggeri cosmici. Per quanto riguarda questo specifico ambito della ricerca, che in area padovana, grazie all'impegno dell'INFN, è ben rappresentato nelle attività della collaborazione VIRGO-LIGO – in forte connessione con il gruppo di Trento – appare urgente che il DFA si apra maggiormente alla ricerca sia sperimentale che teorica in questo campo con un congruo investimento di risorse.

Molti dei rami di ricerca sin qui citati hanno una forte ed immediata connessione con le attività spaziali e quindi con ASI ed ESA. Si pensi alla partecipazione padovana a missioni quali Fermi, Planck, Herschel, Euclid, XMM-Newton, Chandra, SWIFT, Athena, INTEGRAL, LOFT, XIPE, IXPE, eLISA, etc. ... che vede coinvolto, con ruoli di rilievo, personale del DFA, dell'INAF e dell'INFN in ambito sia sperimentale che teorico-interpretativo. Va inoltre ricordato che, nell'ambito spaziale, si situano molte attività di carattere squisitamente astronomico presenti con forza a Padova, sia per quanto attiene dell'astronomia del sistema solare (e.g. ROSETTA), che in relazione alla ricerca e caratterizzazione di pianeti extra-solari (CHEOPS, PLATO, ARIEL, che vedono nel nodo padovano un ruolo di grande responsabilità).

Al fine di irrobustire ed unificare le attività di ricerca dell'area padovana in ambito spaziale è attualmente in discussione la realizzazione di un "Consorzio per le Scienze Spaziali", che si propone di raggruppare in un'unica sede tutti gli Istituti scientifici che si occupano di Scienze dello Spazio e dell'Universo nell'area padovana. Tale consorzio farebbe riferimento all'attività che fa capo ad INAF, INFN e UniPD. Per Ricerca Spaziale si deve intendere quell'ampio spettro di settori di ricerca di base ed applicata che ha come oggetto lo Spazio e l'Universo, che include la ricerca astrofisica, dedicata allo studio ed alla comprensione dei processi fisici che avvengono nello Spazio, a partire dal Sistema Solare fino ai confini dell'Universo, la ricerca tecnologica per la strumentazione di interesse astrofisico (telescopi terrestri e spaziali, rivelatori di

fotoni, di neutrini, di onde gravitazionali) fino alle sonde per l'esplorazione in situ del Sistema Solare.

Tutte le attività sin qui descritte possono pensarsi riunite sotto il titolo unificante di "Fisica dell'Universo" e trovano nel DFA e negli EPR una molteplicità di attività di ricerca che vanno rese via via sempre più interconnesse ed ulteriormente irrobustite con la chiamata di personalità esterne, che permettano una crescente sinergia tra i gruppi attualmente operanti sia in ambito sperimentale/osservativo che nel campo dell'analisi dati, della loro interpretazione e della formulazione di contesti teorici consistenti in cui inquadrarli..