

# Progetto di ricerca

La centenaria ricerca di una descrizione completamente quantistica dell'universo su tutte le scale di lunghezza/energia deve ancora raggiungere la sua conclusione. Nonostante il notevole successo del modello standard di fisica delle particelle (SM), una teoria quantistica di campo (QFT) che descrive le interazioni fondamentali su piccole scale di lunghezza, e della relatività generale (GR), una teoria classica della gravità valida su grandi scale di lunghezza, una formulazione consistente di una teoria quantistica della gravità rimane illusoria. Data la complessità del problema, nel corso degli anni sono state sviluppate molteplici strategie, uno degli approcci che ha ricevuto maggiore attenzione è la teoria delle stringhe (TS), una teoria quantistica in cui gli oggetti fondamentali non sono particelle puntiformi ma piuttosto oggetti estesi come stringhe e brane. La TS deve essere vista come un framework piuttosto che come una teoria unica e ha infatti molte facce con nomi come IIA, IIB, eterotica, collegati tra loro da dualità.

Le varie formulazioni della TS includono nei loro spettri non solo gli scalari i fermioni e i bosoni di gauge abeliani e non abeliani necessari per lo SM ma anche il gravitone. Inoltre, la TS, in tutte le sue versioni, richiede anche spaziotempi di dimensione superiore. Pertanto, se la TS deve fornire una descrizione adeguata del nostro universo, le dimensioni extra devono essere rese non osservabili a basse energie. Un modo per farlo è arrotolarle in un processo chiamato compattificazione, dal quale risulta una teoria della gravità a 4D con un grande numero di campi scalari, chiamati moduli, che descrivono la geometria dello spazio compatto. Tali scalari possono avere molteplici conseguenze osservabili nei processi fisici a energie sotto della scala di compattificazione come l'inflazione, l'energia oscura e la materia oscura e sono quindi il modo migliore per testare e vincolare indirettamente la TS. In termini generali si può sostenere che le conseguenze a bassa energia della TS sono intrinsecamente legate al potenziale e alle scale di massa dei moduli, e quindi sviluppare una comprensione ampia e robusta di detti potenziali è della massima importanza. Negli ultimi 20 anni sono stati compiuti progressi significativi, in particolare nel contesto della TS di tipo IIB, dove combinazioni di flussi (generalizzazioni dei campi di gauge), correzioni perturbative e non perturbative all'azione a "tree level"

portano a modelli promettenti di fisica a 4D.

In questo progetto affronteremo un problema chiaro e ben definito nel contesto della stabilizzazione dei moduli nella TS IIB. Adotteremo un approccio "top down" per cui partendo dalla teoria a 10D eseguiremo la riduzione dimensionale dell'azione su uno spazio di Calabi-Yau (CY) includendo non solo il termine Einstein-Hilbert a "tree level" ma anche la prima correzione perturbativa all'azione che scala come  $\text{curvatura}^4$  [1], concentrandosi su correzioni derivate superiori alle azioni dei moduli [2]. Tali correzioni possono portare, attraverso la struttura supersimmetrica della teoria, a contributi al potenziale scalare per i moduli che possono avere conseguenze per la fisica a basse energie. Recentemente è diventato evidente che la connessione tra l'azione a 4D e la teoria del campo efficace (EFT) supersimmetrica può essere significativamente più generale di quanto considerato finora in letteratura [2,3]. Intendiamo esplorare a fondo questo aspetto, rimuovere le incertezze presenti in letteratura [2,4] e determinare in modo univoco la teoria a 4D. Per raggiungere questo obiettivo sarà necessario eseguire uno studio della geometria della CY. L'obiettivo finale del progetto è cercare potenziali firme osservative della geometria dello spazio di compattificazione nella cosmologia. In questo modo questo progetto cercherà di collegare la cosmologia alle EFT supersimmetriche e alla geometria delle CY.

Per raggiungere l'obiettivo di collegare la geometria dello spazio di compattazione e la fisica delle basse energie sarà necessario l'uso di metodi diversi dalle teorie di campo efficaci alla supersimmetria e alla geometria, un chiaro segno della natura interdisciplinare del progetto e dell'impollinazione incrociata tra diverse aree di conoscenza che definisce la ricerca nella fenomenologia delle stringhe. Il focus iniziale del progetto sarà la connessione tra la geometria dello spazio compatto e l'EFT per i moduli, con particolare enfasi sui termini a derivati superiori ("higher derivative terms") per questi campi scalari accoppiati gravitazionalmente. Per mettere in relazione questi termini "higher derivative" con il potenziale scalare dei moduli, devono essere impiegate tecniche EFT supersimmetriche. L'idea centrale di questa proposta nasce dall'osservazione che le tecniche EFT applicate a questo problema in letteratura [2,3] sono eccessivamente vincolate [5]. Infatti se si tratta la teoria della supergravità a bassa energia (la descrizione a bassa energia

del sottostante TS) come qualsiasi altra EFT, si veda ad es. [5], sorgeranno nuovi e più generali modi di collegare l'azione 10D alla supergravità 4D. Tale analisi manca in letteratura ed è necessaria per valutare correttamente la robustezza dei meccanismi di stabilizzazione dei moduli esistenti rispetto a questa particolare correzione perturbativa. Questo lavoro può portare a nuovi modi di collegare la ST, attraverso la sua geometria, alla fisica delle basse energie, in particolare alla cosmologia. Uno studio sistematico della geometria degli spazi di compattazione utilizzando strumenti computazionali all'avanguardia, ad es. reti neurali, ci permetteranno di comprendere il range naturale dei parametri geometrici che determinano il potenziale dei moduli. Il potenziale di moduli risultante può trovare applicazioni nel contesto dell'inflazione ma anche dei modelli di quintessenza, una situazione che porterebbe all'affascinante possibilità che l'espansione accelerata dell'universo possa essere una conseguenza della variazione temporale della geometria dello spazio di compattazione.

## **Piano di attività**

Questo progetto si trova all'interfaccia di alcune delle aree più interessanti e in rapido sviluppo della teoria delle stringhe, della QFT, della cosmologia e della geometria. In quanto tale, è intrinsecamente interdisciplinare e trarrà vantaggio dall'assunzione di un ricercatore post-dottorato che imparerà dall'esperienza del PI e del CO-PI e che aiuterà a costruire un gruppo di ricerca.

Per raggiungere gli obiettivi proposti abbiamo suddiviso il progetto in tre fasi distinte, ciascuna della durata di circa 4 mesi.

Nella prima fase del progetto il ricercatore lavorerà con il PI su supersymmetric effective field theories, studiando gli operatori higher derivative e la loro relazione con le compactifications di tipo IIB. L'obiettivo di questa fase è quello di determinare la supersymmetric effective field theory più generale che possa descrivere la correzione perturbativa principale all'azione 10 dimensionale andando oltre la presente letteratura sull'argomento [1,2].

Nella seconda fase del progetto il ricercatore si baserà sulle diverse

competenze del PI e del CO-PI eseguendo la riduzione dimensionale della teoria a 4D e imparando a calcolare gli invarianti geometrici che determinano i potenziali dei moduli. Al termine di questa fase ci aspettiamo di avere risultati concreti e interessanti da riportare alla comunità, e lo faremo scrivendo un articolo da sottoporre a un giornale di classe A sottoposto a peer-review.

Nella fase finale del progetto applicheremo i risultati alla stabilizzazione dei moduli e alla cosmologia, sia nell'ambito di inflazione che di energia oscura. Al fine di esplorare a fondo le conseguenze fenomenologiche di questi modelli ed estendere la durata del progetto oltre l'anno di finanziamento disponibile, si intende coinvolgere i dottorandi di fenomenologia delle stringhe sin dalle prime fasi, in modo tale che entro la fine dell'anno siano in grado di aiutare il PI e il CO-PI a portare il progetto alla sua piena conclusione. Il progetto, come delineato, è allo stesso tempo ambizioso e realistico.

[1] Supersymmetry breaking and alpha-prime corrections to flux induced potentials; K.Becker, M.Becker, M.Haack and J.Louis, JHEP 06 (2002), 060

[2] Higher-Derivative Supergravity and Moduli Stabilization; D.Ciupke, J.Louis and A.Westphal, JHEP 10 (2015), 094

[3] Supersymmetric  $P(X, \phi)$  and the Ghost Condensate; J.Khoury, J.L.Lehners and B.Ovrut, Phys. Rev. D 83 (2011), 125031

[4] The DBI Action, Higher-derivative Supergravity, and Flattening Inflaton Potentials; S.Bielleman, L.E.Ibanez, F.G.Pedro, I.Valenzuela and C.Wieck, JHEP 05 (2016), 095

[5] work in progress, L. Paoloni and F.G.Pedro, 2022

[6] Effective Field Theory for Inflation; S.Weinberg, Phys. Rev. D 77 (2008), 123541