

# Curriculum scientifico

## ALESSANDRO ZUCCOTTI

### 1. Dati personali

- Nato a Messina (Me), il 5 gennaio 1994
- Nazionalità: italiana
- Residente e domiciliato a Pisa, via Cesare Battisti 95
- E-mail accademica: [a.zuccotti@studenti.unipi.it](mailto:a.zuccotti@studenti.unipi.it)
- E-mail personale: [alessandro.zuccotti66@gmail.com](mailto:alessandro.zuccotti66@gmail.com)
- Portfolio: <https://alessandrozuccotti.netlify.app>
- Recapito telefonico: +39 347 5904425
- Lingue: italiano (madrelingua), inglese (fluente)

### 2. Titoli di studio

- **Laurea Magistrale in Fisica teorica**, conseguita presso l'Università degli studi di Pisa nell'A.A. 2019/20, con la **votazione di 110/110 e Lode**.  
Titolo della tesi: "Wormhole solutions in Einstein-Weyl gravity".  
Relatore esterno: prof. Alfio Bonanno.  
Relatore interno: prof. Damiano Anselmi.
- **Laurea Triennale in Fisica**, conseguita presso l'Università degli studi di Pisa nell'A.A. 2015/16, con la **votazione di 107/110**.  
Argomenti della tesi: Effetto Aharonov-Bohm e osservazioni sperimentali.  
Relatore: prof. Massimo D'Elia.
- Maturità Scientifica conseguita nel 2012 presso il Liceo Scientifico Statale Archimede di Messina, con la votazione di 97/100.

### 3. Progetti universitari

Durante lo svolgimento della mia tesi di Laurea Magistrale ho avuto modo di sviluppare un progetto finalizzato alla risoluzione di sistemi di equazioni differenziali non lineari. Il codice del progetto in questione è stato interamente sviluppato utilizzando il software Wolfram Mathematica. Nello specifico, il codice implementato ha l'obiettivo di:

- restituire soluzioni numeriche di equazioni differenziali di cui non si conoscono soluzioni esatte

- dare una descrizione completa dello spazio di soluzioni di tali equazioni
- descrivere classi di soluzioni con ottima precisione, non ottenibile con un'integrazione numerica standard
- descrivere le soluzioni approssimate in espansione in serie intorno a un determinato punto, calcolandone i coefficienti fino a un ordine arbitrariamente alto
- connettere differenti regimi in cui si conoscono le soluzioni in forma approssimata risolvendo un "boundary value problem" grazie all'implementazione del metodo di shooting.

## 4. Esami sostenuti

Vengono qui riportati gli esami sostenuti appartenenti al mio piano di studi magistrale, come ulteriormente specificato dall'allegato.

- Relatività generale (prof. E. Vicari): **27/30**
- Fisica teorica 1 (prof. E. Guadagnini): **28/30**
- Cromodinamica quantistica (prof. E. Meggiolaro): **28/30**
- Struttura della materia 2 (prof. G. Moruzzi): **26/30**
- Analisi statistica dei dati (prof. G. Punzi): **29/30**
- Fisica teorica 2 (prof. E. Vicari): **28/30**
- Cosmologia del primo universo A (prof. D. Grasso): **27/30**
- Teorie della gravitazione A (prof. D. Anselmi): **30/30 e Lode**
- Fisica statistica (Prof. E. Guadagnini): **30/30**

## 5. Attività scientifica

### Interessi di studio e futura ricerca

Il percorso universitario magistrale mi ha permesso di approfondire i seguenti argomenti, che intendo proseguire come possibili interessi per una futura ricerca di dottorato:

- Teoria quantistica dei campi e fisica delle alte energie
- Modello standard
- Cromodinamica quantistica
- Relatività generale
- Estensioni della relatività generale

In particolare, nell'ultimo periodo ho approfondito con grande interesse argomenti inerenti a teorie della gravitazione convergendo nell'elaborato finale di tesi magistrale, di cui l'abstract nella prossima sezione. Con esso ho ottenuto risultati originali riguardanti soluzioni classiche della gravità di Einstein-Weyl. Futuri lavori di ricerca, concordati con il relatore esterno, hanno come obiettivo l'ulteriore approfondimento e pubblicazione di questi e di nuovi risultati.

## Tesi magistrale

A. Zuccotti. "Wormhole solutions in Einstein-Weyl gravity". Tesi magistrale. Università degli studi di Pisa. (2021)

### Abstract:

In this work we are going to study wormhole solutions in Einstein-Weyl gravity. Such solutions emerge when looking for a static spherically symmetric metric in the vacuum, in the more general context of classical quadratic gravity. Classical quadratic gravity is the theory of gravitation that comes out when including quadratic terms in the curvature in the Einstein-Hilbert action of general relativity. The study of such theory is motivated by the presence of quadratic corrections in almost all attempts to find a consistent description of quantum gravity. Indeed, it is well known that general relativity can be consistent as a quantum field theory only as a low-energy effective theory. We are not going to discuss the quantum aspects of the quadratic action: instead, we consider what happens to the classical description of the space-time when quadratic corrections are taken into account. In order to do that, we restrict to the simplest non-trivial case, that is a static spherically symmetric space-time in the vacuum. Given these restrictions in general relativity, we have the well known Schwarzschild solution, i.e. black hole solution. In classical quadratic gravity the Schwarzschild solution is still present, but we can also find many different classes of solutions:

the aim of this thesis is to classify the various solutions families, as well as to characterize a specific family that covers a large part of the solution space, i.e. wormhole solutions.

We solve the geodesic equation in such solutions which shows the reason why we call them traversable wormholes.

We report all the solution families found in previous works while adding a new subfamily of the generic wormhole solutions.

When studying different classes of solutions we are assisted by a Lichnerowicz-type theorem which removes the contributions of the  $R^2$  term from the equations of motion under some assumptions, in particular when an horizon is present. When such contribution is absent, the quadratic theory reduces to Einstein-Weyl gravity.

By numerically solving the equations of motion in the Einstein-Weyl theory, we classify the various solution families in a phase diagram of the theory. By using the shooting method for the boundary value problem between spatial infinity and the radius of the wormholes, we find the geometric properties of the wormhole solutions, and in particular we characterize the behavior of these solutions in function of their position on the phase diagram. Then we use the results to explore both the interior  $r < r_0$  of the wormholes and the new "copy" of  $r > r_0$  that emerges in such solutions. We report a qualitative analysis of the behavior of the metric in this new  $r > r_0$  region, discovering that it has a finite proper volume for  $r \rightarrow +\infty$  for almost all solutions, due to a strongly non-flat behavior of the metric.

We conclude with a physical discussion about the case of a massive observer that falls into these solutions.

## 6. Pubblicazioni

Attualmente sono stati concordati i seguenti lavori, in corso d'opera, con il professor Alfio Bonanno e il suo collaboratore Samuele Silveravalle:

1. articolo con oggetto la pubblicazione dello spazio delle soluzioni statiche a simmetria sferica della gravità di Einstein-Weyl, in cui presentiamo un'originale rappresentazione completa di tale spazio riassunta in un diagramma di fase della teoria
2. articolo con oggetto la pubblicazione e l'approfondimento dei risultati originali ottenuti nel lavoro di tesi magistrale, riguardanti le soluzioni di wormhole della gravità di Einstein-Weyl.

## 7. Descrizione attività di ricerca

Come menzionato precedentemente, il lavoro di tesi magistrale affronta lo studio di soluzioni classiche, statiche e a simmetria sferica nel vuoto, di una delle più semplici modifiche della relatività generale: la gravità di Einstein-Weyl. Tale lavoro riprende argomenti precedentemente affrontati in alcuni lavori di K. Stelle, A. Perkins, et al.

I risultati originali da me ottenuti consistono:

- nell'organizzazione dello spazio delle soluzioni asintoticamente piatte di tale teoria in un diagramma di fase in cui vengono relazionate le varie famiglie di soluzioni con il comportamento della metrica all'infinito
- nell'affrontare lo studio di una particolare famiglia di soluzioni che non era stata studiata in dettaglio in alcun lavoro precedente: le soluzioni di wormhole. Lo shooting code implementato con Wolfram mathematica mi ha permesso di dare una descrizione completa di tali soluzioni in funzione della metrica all'infinito, in particolare in funzione della massa osservabile di tali oggetti
- nello studiare per la prima volta la nuova regione di spazio che emerge in tali soluzioni e di risalire alla forma funzionale della metrica in tale nuovo "universo". Da quest'ultima emergono le seguenti considerazioni:
  - il volume fisico di tale nuovo universo risulta finito
  - la forza gravitazionale in questa regione di spazio risulta diretta dal centro verso l'infinito, producendo un'effettiva espansione di tale universo.

*Lettere di referenza sono disponibili su richiesta*