

Candidato: Davide Rindori (davide.rindori@stud.unifi.it)

Relatore: Prof. Domenico Seminara (seminara@fi.infn.it)

Comportamento dell'entropia di entanglement olografica in $\text{AdS}_4/\text{BCFT}_3$

L'entanglement è un fenomeno quantistico privo di analogo classico che si verifica quando i sottosistemi di un dato sistema sono correlati fra loro in modo tale che lo stato di ciascuno di essi non può essere descritto indipendentemente dagli altri. In sistemi bipartiti, cioè in cui i gradi di libertà sono divisi, per esempio spazialmente, in due sottosistemi \mathcal{A} e \mathcal{B} , è possibile quantificare l'entanglement di \mathcal{A} con \mathcal{B} tramite la cosiddetta entropia di entanglement. Sebbene i concetti alla base dell'entanglement valgano sia per sistemi semplici sia per teorie di campo quantistiche, per queste ultime il calcolo dell'entropia di entanglement è un compito così arduo che in generale non si è in grado di portare a termine. In questo contesto si inserisce la nozione di olografia, o corrispondenza AdS/CFT .

Essa stabilisce un'equivalenza fisica fra due teorie molto diverse fra loro: una teoria di gravità quantistica che vive su uno spaziotempo asintoticamente di Anti-de Sitter (AdS) di almeno $d + 1$ dimensioni e una teoria di campo conforme (CFT) che vive su uno spaziotempo piatto d -dimensionale. Euristicamente, il secondo spaziotempo è pensato come il bordo del primo. Nel limite di basse energie si trova che una teoria di campo fortemente accoppiata è duale alla supergravità, cioè la teoria che descrive la dinamica delle eccitazioni massless della stringa chiusa. In generale la prima è complicata da gestire, mentre la seconda è più maneggevole, quindi solitamente la corrispondenza viene usata per risolvere con il linguaggio della gravità i problemi della teoria di campo.

Il corrispondente gravitazionale dell'entropia di entanglement, detto entropia di entanglement olografica, è dato dalla prescrizione di Ryu-Takayanagi. A tempo fissato si bipartisce lo spaziotempo della teoria di campo in $\mathcal{A} \cup \mathcal{B}$. In una sezione a tempo fissato dello spaziotempo della teoria di gravità ad essa duale si cercano le superfici che estremizzano il funzionale area e il cui bordo coincida con il bordo $\partial\mathcal{A}$. Fra le superfici che soddisfano queste caratteristiche, poiché in generale possono essercene molteplici, si sceglie quella di area minima. La prescrizione di Ryu-Takayanagi stabilisce che l'entropia di entanglement olografica è data dall'area della superficie minima in unità dell'area di Planck. Il problema del calcolo dell'entropia di entanglement è dunque tradotto in gravità in un problema geometrico di superfici minime.

Nel nostro lavoro di tesi ci siamo concentrati sulle teorie di campo conformi con bordo (BCFT), chiedendoci in che modo l'entropia di entanglement olografica risente della presenza del bordo della teoria di campo. Ci siamo focalizzati sul caso $d = 3$, introducendo la corrispondenza $\text{AdS}_4/\text{BCFT}_3$. Abbiamo considerato il caso semplice in cui la teoria di campo vive su un semi-spazio M il cui bordo ∂M è una retta. In gravità, questo si traduce nell'introdurre nello spaziotempo AdS_4 una brana Q (un semi-piano, intuitivamente) inclinata di un angolo α che limita la regione di spazio accessibile. In M abbiamo fissato un istante temporale e fatto una bipartizione $\mathcal{A} \cup \mathcal{B}$, scegliendo come sottosistema \mathcal{A} una striscia di larghezza fissata L parallela al bordo ∂M . Fissato un istante temporale, abbiamo cercato in AdS_4 le superfici estremali che, in presenza di bordo, possono ancorarsi non solo a $\partial\mathcal{A}$ ma anche alla brana Q con opportune condizioni al contorno. Dopodiché abbiamo individuato quella di area minima e calcolato l'entropia di entanglement olografica con la prescrizione di Ryu-Takayanagi. Per esplorare meglio gli effetti dovuti alla presenza del bordo nella teoria di campo, abbiamo considerato configurazioni diverse: dapprima la striscia \mathcal{A} adiacente al bordo ∂M , poi l'abbiamo separata di una distanza L_a e infine abbiamo aggiunto un secondo bordo ad una distanza L_b dalla striscia.

I risultati mostrano che esistono regimi in cui l'entropia di entanglement olografica non risente della presenza del bordo ∂M . In particolare, se l'inclinazione α della brana è troppo piccola o se la striscia è troppo lontana dal bordo, tutto va come se il bordo non ci fosse. Avvicinandosi a ∂M compare nell'entropia di entanglement una dipendenza da parametri geometrici quali l'inclinazione α della brana e la distanza L_a della striscia dal bordo. Abbiamo trovato che esistono valori critici di questi parametri in corrispondenza dei quali si osservano transizioni di fase fra le possibili superfici estremali. Questo trova una naturale spiegazione in termini dell'entanglement wedge, definito come la regione di AdS duale alla matrice densità ridotta di \mathcal{A} della teoria di campo. L'entanglement wedge è a sua volta inquadrato dentro il più ampio contesto del bulk reconstruction problem.