

# Correzioni quantistiche al tensore energia-impulso in stati di equilibrio termodinamico generalizzato

*Candidato:* Rodolfo Panerai  
e-mail: rodolfo.panerai@gmail.com

*Relatore:* Prof. Francesco Becattini  
e-mail: becattini@fi.infn.it

## Sommario

In questo lavoro di tesi abbiamo individuato e calcolato correzioni alla media statistica del tensore energia-impulso che si manifestano in particolari stati che estendono la definizione usuale di equilibrio termodinamico. Un tale risultato può essere interpretato nel contesto della fluidodinamica relativistica.

La fluidodinamica relativistica è una teoria effettiva che descrive la dinamica macroscopica di sistemi che realizzano una condizione di equilibrio termodinamico locale; le equazioni fondamentali della teoria sono le equazioni di conservazione associate a correnti di simmetria. In particolare, in teorie relativistiche appunto, oggetto fondamentale di studio è il tensore energia-impulso. Poiché, come abbiamo detto, si tratta di una teoria effettiva, la fluidodinamica relativistica esprime il valor medio del tensore energia-impulso attraverso una serie di funzioni che determinano le proprietà termodinamiche locali del sistema. Al cosiddetto “ordine zero” della fluidodinamica la forma del tensore energia-impulso, forma cosiddetta *ideale*, può essere calcolata a partire dalla formulazione covariante quanto-relativistica della meccanica statistica di equilibrio. A determinare la forma del tensore energia-impulso sono così un campo di quadri-velocità (che definisce un *frame fluidodinamico*), un campo di temperatura propria, e un certo numero di campi che hanno il ruolo di potenziali chimici associati a eventuali cariche di simmetrie interne della teoria. Agli ordini successivi si introducono correzioni legate alle derivate del campo di quadri-velocità che è generalmente ritenuto siano associate a processi di tipo dissipativo. In mancanza di fenomeni dissipativi (ovvero per fluidi ideali), dunque, anche in condizioni dinamiche, sembrerebbero così non essere ammesse modifiche alla forma ideale del tensore energia-impulso, forma che risulta fortemente vincolata dalle simmetrie dell’operatore statistico di equilibrio adottato.

Accade però, che, se si modifica la prescrizione con cui calcolare il valore d’aspettazione del tensore energia impulso, introducendo una definizione di stati quantistici che tenga conto della condizione di località dell’equilibrio, ecco che si hanno due risultati notevoli. Da un lato si individua un nuovo tipo di *frame* fluidodinamico associato al campo di quadri-temperatura, un campo di potenziali termodinamici che definiscono lo stato di equilibrio locale. Dall’altro, la forma ideale riceve correzioni legate alle derivate del campo di quadri-temperatura che devono essere così affiancate alle correzioni di non idealità nella descrizione fluidodinamica.

In particolare, il nostro studio si concentra sugli stati di equilibrio generalizzato, nei quali il campo di quadri-temperatura risulta un Killing della metrica; in spazio piatto questi corrispondono, fra gli altri, ai casi di accelerazione uniforme o di rotatore rigido. Tali stati sono a tutti gli effetti stati di equilibrio globale, per i quali l’entropia si mantiene costante nel tempo, ma differiscono dagli stati di equilibrio usuali in quanto non descrivono un sistema con proprietà omogenee. Gli stati di equilibrio generalizzato hanno un ruolo anche nella descrizione degli stati di equilibrio termodinamico in spazio-tempo curvo.

In questo lavoro di tesi abbiamo effettuato il calcolo del valore d’aspettazione del tensore energia-impulso sviluppando il valore locale del tensore in serie di potenze nelle derivate del campo di quadri-temperatura, intorno alla forma ideale. Abbiamo determinato dapprima la forma tensoriale di tale risultato prescindendo dalla particolare teoria che descrive i processi microscopici che intervengono nel sistema che si intende descrivere. In un secondo momento abbiamo calcolato la forma esplicita del tensore nel caso di una teoria quantistica di campo scalare libero. Abbiamo svolto tutti i conti per due diverse forme di tensore energia-impulso usualmente identificate come equivalenti dal momento che entrambe danno luogo agli stessi generatori del gruppo di Poincaré. Abbiamo mostrato che la differenza nella forma operatoriale dei due tensori, a differenza del caso di equilibrio termodinamico usuale, si riflette nel valore d’aspettazione d’equilibrio generalizzato e fa sì che i due diversi tensori descrivano proprietà diverse per il sistema all’equilibrio.