

## **Abstract tesi di dottorato Guerino Avallone (matricola 8800200031). Inglese**

In this thesis, after introducing some theoretical aspects of Mott insulators, pure single crystals of the Mott insulator  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  was investigated from an experimental point of view. The surprisingly low current density required to induce the insulator to metal transition has made this material an attractive candidate for developing Mott-based electronics devices. However, the mechanism driving the resistive switching remains a controversial topic in the field of strongly correlated electron systems. Here, electrical transport measurements combined with X-ray diffraction have been performed to refine the crystallographic structural phases. A non-equilibrium state which is the precursor of the fully metallic phase was found and adequately characterised. Furthermore, electric transport measurements of the eutectic system constituted by  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  with embedded metallic Ru inclusions have been performed. In this system, the same properties of the pure  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  were found, although the Ru inclusions make it structurally stiffer.

Moreover, using the sample size as a principal tuning parameter, an uncovered region of the phase space of pure  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  single crystal has been probed. To decrease the dimensions of the crystals down to the microscopic scale, an innovative technique that involves a  $\text{Ga}^+$  focused ion beam has been employed. Upon reducing the crystal size, an increase of four orders of magnitude in the current density is required for driving  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  out of the insulating state into the non-equilibrium phase. This effect was observed for the very first time. By fabricating a microscopic platinum thermometer directly on top of selected samples and performing thermal simulations, it was gained insight into the local temperature during simultaneous application of current, and it was established that the observed “size effect” is not a result of Joule heating. The findings suggest an inhomogeneous current distribution in the nominally homogeneous crystal.

This study paves the way to a new approach to investigate the physical properties of Mott insulators and calls for a re-examination of the interplay between sample size, charge current, and temperature in driving  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  towards the insulator to metal transition.

## **Abstract tesi di dottorato Guerino Avallone (matricola 8800200031). Italiano**

In questa tesi, dopo aver introdotto alcuni aspetti teorici degli isolanti di Mott, sono stati studiati da un punto di vista sperimentale cristalli singoli puri dell'isolante di Mott  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ . La densità di corrente sorprendentemente bassa richiesta per indurre la transizione isolante-metallo ha reso questo materiale un candidato interessante per lo sviluppo di dispositivi elettronici basati sugli isolanti di Mott. Tuttavia, il meccanismo che guida tale transizione rimane un argomento controverso nel campo dei sistemi elettronici fortemente correlati. In questo lavoro sono state eseguite misure di trasporto elettrico combinate con misure di diffrazione a raggi X per studiare le fasi strutturali cristallografiche. È stato trovato e adeguatamente caratterizzato uno stato di non equilibrio che è il precursore della fase completamente metallica. Inoltre, sono state eseguite misure di trasporto elettrico del sistema eutettico costituito da  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  con inclusioni metalliche di Ru. In questo sistema sono state riscontrate le stesse proprietà del  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  puro, sebbene le inclusioni di Ru lo rendano strutturalmente più rigido.

Inoltre, utilizzando la dimensione del campione come parametro principale di tuning delle proprietà fisiche, è stata sondata una nuova regione dello spazio delle fasi in cristalli singoli di  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  puro. Per ridurre le dimensioni dei cristalli fino alla scala microscopica, è stata impiegata una tecnica innovativa che prevede l'utilizzo di un fascio di ioni focalizzato di  $\text{Ga}^+$ . È stato scoperto che riducendo la dimensione del cristallo, è necessario un aumento di quattro ordini di grandezza della densità di corrente per portare il  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  dallo stato isolante alla fase di non equilibrio. Questo effetto è stato osservato per la prima volta. Fabbricando un termometro microscopico al platino direttamente sopra alcuni campioni, ed eseguendo misure e simulazioni termiche, è stato possibile ottenere informazioni sulla temperatura locale durante l'applicazione di corrente elettrica nei micro-cristalli, e si è dimostrato che "l'effetto dimensione" osservato non è attribuibile al riscaldamento per effetto Joule. I risultati suggeriscono una distribuzione di corrente disomogenea nel cristallo il quale è nominalmente omogeneo.

Questo studio, oltre ad aprire le porte ad un nuovo approccio per studiare le proprietà fisiche degli isolanti di Mott, sottolinea la necessità di riesaminare l'interazione tra la dimensione del campione, la corrente elettrica e la temperatura nel guidare il  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  verso la transizione isolante-metallo.