

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA  
prot. 2005021773

<b>Coordinatore Scientifico</b>	Arianna MONTORSI
<b>Ateneo</b>	Politecnico di TORINO
<b>Titolo della Ricerca</b>	MECCANICA STATISTICA, TEORIA DEI CAMPI, E TRANSIZIONI DI FASE QUANTISTICHE IN BASSA DIMENSIONALITÀ
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 101.000
<b>Durata</b>	24 Mesi

### Obiettivo della Ricerca

*Negli anni recenti e' diventato sempre piu' evidente come e' solo attraverso l'uso simultaneo di competenze diverse che fenomeni cooperativi complessi (quali le transizioni di fase quantistiche) possono essere completamente compresi. A ulteriore dimostrazione di cio', nell'ultimo anno alcuni partecipanti al presente progetto hanno raggiunto risultati notevoli ([20], [21]) attraverso l'uso combinato di metodologie provenienti da diverse aree di ricerca (DMRG, teoria dell'informazione quantistica, e teorie conformi) per due importanti modelli: il modello di Hirsch, e il NLSM con termine topologico.*

*L'obiettivo principale del programma e' perseguire la sinergia delle diverse competenze delle Unita' per indagare alcune proprieta' fisiche rilevanti di sistemi (quasi)unidimensionali, in particolare modo in prossimita' di transizioni di fase quantistiche. Fra gli obiettivi specifici del programma di ricerca, quelli segnalati nel seguito sono comuni, vale a dire perseguibili solo attraverso una collaborazione fra le varie sedi. Accanto a questi, gli obiettivi relativi al proseguimento delle attivita' di ricerca inerenti il programma e caratteristiche delle singole sedi sono riportati nelle sezioni inerenti le Unita'.*

*Gli obiettivi comuni (OC) si possono cosi' riassumere:*

*OCI) QPTs nel modello di Hirsch al di fuori del regime integrabile;*

*Sono previste transizioni metallo-isolante-superconduttore al variare del filling, della repulsione coulombiana, e dell'interazione di bond-charge. In particolare vogliamo approfondire:*

*OCI-i) studio con DMRG del caso unidimensionale al di fuori dell'half-filling (TO-BO);*

*OCI-ii) studio con entanglement entropy del caso bidimensionale (TO-BO);*

*OCI-iii) studio del modello dal punto di vista della teoria conforme: in particolare, ottenere gli esponenti critici e le dimensioni di scala degli operatori che governano la transizione superconduttore-isolante (TO-BO-TS).*

*OCII) Effetti di size finito. Questo effetto e' stato indagato con metodi diversi dalle sedi di Bologna (Equazioni Integrali Non Lineari, NLIE) e Trieste (metodo semiclassico). Ci proponiamo di confrontare fra loro e integrare le metodologie. (BO-TS)*

*OCIII) Misure di entanglement e QPTs: analisi comparativa dell'uso di diverse misure di entanglement alle transizioni, e loro scaling, per modelli di spin 1 e tipo Hubbard. (TO-BO)*

*OCIV) Teorie di campo non integrabili; ruolo dei termini che rompono l'integrabilita'; in particolare, ci proponiamo di investigare ulteriormente la dinamica non integrabile in catene di spin e modelli sigma non-lineari con termine topologico; (BO-TS)*

*OCV) Sistemi random e teorie conformi logaritmiche;*

*da un lato, e' previsto lo studio, con un adattamento del metodo delle repliche al caso quantistico, di modelli tipo Hubbard con disordine; dall'altro, si vogliono analizzare questi termini nell'ambito delle teorie conformi con carica centrale nulla; (TO-TS)*

*OCVI) Isolanti di Mott 1D e limite continuo. Utilizzo dell'approccio dei fattori di forma per descrivere le proprieta' dinamiche di bassa energia degli isolanti di Mott unidimensionali nel regime in cui la teoria di risposta lineare e' valida (susceptivita' ottica). (TO-TS)*

*OCVII) Sistemi "ladder: permettono di studiare, non solo magnetismo in sistemi quasi-unidimensionali ma anche trasporto in un ambiente antiferromagnetico; in particolare*

*OCVII-i) proprieta' di trasporto di spin e di carica ai punti integrabili;*

*OCVII-ii) teoria delle perturbazioni attorno ai punti integrabili e metodi semiclassici saranno usati per studiare tutto il diagramma di fase, ed integrati con analisi numerica (BO-TS)*

### Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

*Trattandosi di ricerca di base, tutti gli obiettivi segnalati nel paragrafo precedente costituiscono, qualora raggiunti, innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo.*

## **Criteria di verificabilità**

*I risultati conseguiti dal presente programma saranno facilmente verificabili attraverso la qualità e il numero di pubblicazioni congiunte o indipendenti delle diverse unità su riviste specialistiche.*

## **Elenco delle Unità di Ricerca**

<b>Sede dell'Unità</b>	Politecnico di TORINO
<b>Responsabile Scientifico</b>	Arianna MONTORSI
<b>Finanziamento assegnato</b>	<b>Euro</b> 25.500

## **Compito dell'Unità**

*I) Trasizioni di fase quantistiche per Hamiltoniane di Hubbard Estese.*

*(I-a) Ruolo dell'interazione bond-charge ( $x$ ): analisi con DMRG del modello di Hirsch anche al di fuori dell'half-filling.*

*(I-b) Entanglement in transizioni di fase quantistiche in  $D=2$ . Utilizzazione della entanglement entropy nello studio della transizione superconduttore-isolante in  $D=2$ , con tecniche puramente numeriche su cluster finiti bidimensionali.*

*(I-c) Integrabilità in presenza di ulteriore interazione bond-bond ( $x$  tilde). Soluzione esatta del caso  $x=1$  e  $x$  tilde generico, possibile grazie alla conservazione della doppia occupazione. La soluzione dovrebbe permettere di vedere al variare di  $x$  tilde una transizione che riporti il modello ai risultati della bosonizzazione.*

*(I-d) Introduzione del termine di disordine nell'interazione coulombiana dei modelli tipo Hubbard estesi nei casi integrabili  $S=1-D$  che conservano la doppia occupazione. Utilizzazione dell'estensione del metodo delle repliche, utilizzato tipicamente nei sistemi vetrosi, al caso quantistico [72].*

*II Teorie conformi e transizione allo stato superconduttore.*

*Studio dei risultati ottenuti per la transizione allo stato superconduttore in [21] dal punto di vista delle teorie conformi; infatti, poiché in tale regime  $c=1$ , i risultati ottenuti intorno a  $x=0.5$  sembrano indicare una velocità di carica, o addirittura una scaling dimension, nulla. Inoltre, la non analicità della linea di transizione in  $x=0.5$  sembra suggerire che in quel punto possa convergere una ulteriore linea di transizione a  $c=1$  dal regime di  $u$  negative.*

*III Misure di entanglement in sistemi di spin 1.*

*Utilizzando i risultati ottenuti in [25], si possono mappare sistemi di elettroni constrained in sistemi di spin 1. Studio del ruolo in tali sistemi delle misure di entanglement sviluppate in [26].*

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di BOLOGNA
<b>Responsabile Scientifico</b>	Giuseppe MORANDI
<b>Finanziamento assegnato</b>	<b>Euro</b> 28.250

## **Compito dell'Unità**

*I) Effetti di size finito.*

*i) ottenere le NLIE per il modello di super sine-Gordon, che corrisponde ad una generalizzazione integrabile della catena XXZ di spin uno;*

*ii) generalizzare l'approccio a catene di spin più alto, ovvero ai cosiddetti modelli di super sine-Gordon frazionari;*

*iii) ottenere una descrizione chiara degli stati di modelli con condizioni al contorno generiche, partendo dal caso delle condizioni di Dirichlet;*

*iv) confrontare questo metodo con quello semiclassico recentemente proposto dal gruppo di Trieste;*

*v) generalizzare l'approccio delle NLIE ad altre teorie di Toda affini, casi in cui la difficoltà maggiore consiste nel fatto che la formulazione lagrangiana non è hermitiana (pur avendo un settore di spettro reale): un modo per superare questo problema è partire da hamiltoniane hermitiane di spin su reticolo, come per esempio il modello di Bulloch-Dodd;*

*vi) comparare i risultati analitici ottenuti con NLIE, per esempio nel modello di sine-Gordon, con i risultati ottenuti con il DMRG per catene di spin.*

*2) Modelli di spin e delettronici.*

*i) Studio dello spettro della fase massiva di Haldane nel modello  $\lambda$ -D, in connessione, da un lato, con lo spettro della teoria di campo che si ottiene nel limite del continuo e, dall'altro, con la descrizione teorica di alcuni nuovi composti che sono stati recentemente studiati in laboratorio [7].*

*ii) modello di Hirsch: uso del DMRG per calcolare tutte le funzioni di correlazione rilevanti per transizione la transizione*

superconduttore-isolante, in modo da ottenere gli esponenti critici e le dimensioni di scala degli operatori che governano la transizione stessa.

iii) studio sulla possibilità di implementare attraverso l'uso dell'entanglement di un nuovo algoritmo quantistico capace da un lato di avere un maggior controllo dei numeri quantici conservati e dall'altro di essere esteso anche a sistemi in dimensione maggiore di uno.

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati di TRIESTE
<b>Responsabile Scientifico</b>	Giuseppe MUSSARDO
<b>Finanziamento assegnato</b>	<b>Euro</b> 47.250

### **Compito dell'Unità**

1. Studio di funzioni di correlazione esatte in teorie di campo integrabili massive e massless, in particolare esplorando ulteriormente la possibilità di arrivare a una forma chiusa per funzioni di correlazione di altri modelli integrabili e, più in generale, la loro relazione con l'equazione di Painlevé; calcolo di funzioni di correlazione in teorie di campo integrabili con eccitazioni di massa nulla, come ad esempio il Modello Principale Chirale  $SU(2) \times SU(2)$  con termine topologico o il modello sigma non lineare  $O(3)$  con  $\theta = \pi$ .

2. Teorie di campo a temperatura finita e in volume finito.

Estensione degli studi di funzioni di correlazione a temperatura finita in teorie di campo integrabili basati sulla conoscenza dei fattori di forma a temperatura zero sono stati proposti di recente. Estensione dell'analisi semiclassica.

3. Teorie di campo non integrabili.

Proseguimento dello studio del NLSM con termine topologico. programiamo di investigare ulteriormente la dinamica non integrabile e di estendere le applicazioni alle catene di spin quantistiche e ad altri modelli sigma con termine topologico.

4. Proprietà analitiche dell'energia libera per modelli di reticolo nel limite di scaling. Completamento del progetto riguardante le proprietà analitiche dell'energia libera del modello di Ising tricritico nel limite di scaling.

5. Sistemi random e teorie conformi logaritmiche. Uso del metodo esatto di matrice  $S$ , sia nello spazio delle repliche che nella formulazione supersimmetrica.

6. Equazione stocastiche di tipo SLE. Caratterizzazione delle equazioni delle curve stocastiche nel caso di sistema fuori dal punto critico, in particolare, individuando la loro distribuzione di probabilità.

7. Isolanti di Mott in una dimensione. Gli isolanti di Mott unidimensionali sono descritti nel limite di scaling dal modello integrabile di Sine-Gordon. Uso dell'approccio dei fattori di forma per descrivere le proprietà dinamiche di bassa energia degli isolanti di Mott unidimensionali nel regime in cui la teoria di risposta lineare non è più valida.

8. Effetti coulombiani in nanotubi di carbonio, in particolare a "zigzag". Studio attraverso approcci non perturbativi per descrivere le criticità quantistiche che separano le differenti fasi massive.

9. Sistemi "ladder". Alle basse energie vari punti del ricco diagramma di fase sono descritti da teorie di campo integrabili. Sfruttamento dell'integrabilità per studiare le proprietà di trasporto di spin e di carica a questi punti specifici. Teoria delle perturbazioni attorno ai punti integrabili e metodi semiclassici saranno usati per studiare tutto il diagramma di fase.