

Attività di Ricerca

- L'attività di ricerca ha avuto inizio durante la scrittura della tesi di Laurea [1] ed è proseguita durante il dottorato di ricerca svolto con la supervisione del Prof A. Sciarrino. Essa è stata incentrata sullo studio della classe di algebre infinito-dimensionali denominate Lorentziane e riassunta nella tesi [7]. Durante tale periodo sono stati pubblicati gli articoli [3],[2],[5] e [6] che descrivono la realizzazione di vertice sviluppata per affrontare lo studio di tali algebre che comprendono quelle affini, le iperboliche e quelle generalizzate (anche dette di Borchers). Grazie all'utilizzo di campi ausiliari anche le algebre di Borchers, le cui proprietà hanno suscitato molto interesse nell'ambiente dei Fisici di Stringa, sono state costruite esplicitamente per la prima volta in [6]. Esse sono in seguito apparse in letteratura come possibili simmetrie delle teorie di campo di stringa. Successivamente anche il modello di Calogero-Sutherland è stato studiato utilizzando l'algebra degli operatori di vertice già sviluppata per lo studio delle algebre Lorentziane [8]. Motivato dalla possibile rilevanza delle algebre deformate nella descrizione del codice genetico (L. Frappat, P. Sorba, A. Sciarrino - physics/9801027), in collaborazione con A. Sciarrino è stato intrapreso lo studio delle proprietà tensoriali degli operatori nel limite $q \rightarrow 0$ delle algebre deformate [13]. Inoltre, sempre in collaborazione con A. Sciarrino è stata studiata la relazione tra la costruzione covariante e quella trasversa delle algebre affini [4] che ha permesso di sviluppare una potente tecnica (denominata successivamente "m-riduzione") che consente di costruire una precisa mappa tra teorie conformi con diversa carica centrale ($c \rightarrow mc$) [9], [10], [11]. Negli ultimi cinque anni tale tecnica è stata applicata con successo alla descrizione dell'Effetto Hall Quantistico in collaborazione con G. Cristofano, G. Maiella, G. Niccoli e A. Naddeo. Infatti è stato possibile costruire una teoria conforme effettiva per l'intera serie dei plateaux di Jain (filling $\nu = \frac{m}{2pm+1}$) [12], in cui l' m -riduzione induce condizioni al bordo twistate per i campi bosonici fondamentali. Questo consente di descrivere le proprietà di un fluido Hall Quantistico ad un generico filling di Jain in termini dell'unico bosone libero necessario per descrivere il filling $\nu = 1$. Tale tecnica produce in maniera naturale l'usuale campo carico e $m - 1$ campi neutri, la cui presenza è essenziale per una descrizione locale in termini dell'elettrone. Tale costruzione è stata successivamente estesa anche ai plateaux non standard del tipo $\nu = \frac{m}{pm+2}$ [14]. Anche in questo caso le eccitazioni del fluido Hall (elettroni ed anioni) sono descritte in termini di operatori di vertice (i campi primari della teoria conforme), composti da una parte carica ed una neutra. In particolare per il caso $m = 2$ i gradi di libertà neutri descrivono fermioni di Majorana (parafermioni per un generico m) e contribuiscono alla funzione d'onda dello stato fondamentale con un termine di Pfaffiano (Pfaffiano generalizzato per m generico). Inoltre sono state analizzate anche le proprietà modulari sul toro per il caso $m = 2$ [16] ed è stato mostrato che i gradi di libertà della funzione di partizione vanno a completare una costruzione di Z_2 -orbifold degli stati di Halperin. Il modello così ottenuto, il Twisted Model (TM), descrive un sistema di due strati Hall interagenti (bilayer) e contiene un termine di tunneling tra essi che ha l'effetto di selezionare un settore invariante sotto twist che si identifica con il modello di Moore-Read. Un altro campo di possibile applicazione delle tecniche sviluppate è quello delle teorie di stringa e di brane interagenti. Anche in questo caso sono stati ottenuti risultati interessanti, riuscendo a dare una descrizione di

un sistema di due D-brane interagenti in termini di un fluido Hall Quantistico (il bilayer) [15]. In tale sistema la condensazione del tachione induce una transizione da una teoria effettiva con carica centrale $c = 2$ ad una più stabile teoria $N = 2$ superconforme con $c = 3/2$.

Recentemente è stato evidenziato [17] che la corrente neutra del TM, che ha origine da una interazione localizzata nel punto di contatto tra i due strati può essere attribuita alla presenza sul bordo di una impurezza (twist). Impurezze localizzate anche se non modificano la carica centrale della teoria, modificano fortemente le proprietà dello stato fondamentale e dello spettro. Infatti, per ogni classe di impurezza l'Hamiltoniana contiene un termine di bordo che non solo determina l'energia dello stato fondamentale ma dà anche informazioni sulla sua stabilità (g-theorem) cosicché differenti classi di universalità esistono per un dato filling. Per un sistema a due strati, che esibisce interessanti fenomeni come la coerenza di fase tra essi, alcune classi di universalità sono note, corrispondenti ai diversi valori dei parametri rilevanti come la distanza tra gli strati e l'intensità del tunneling tra essi. In un approccio di teoria conforme tali proprietà sono descritte dal contenuto dei modi neutri (p.es. Dirac per Halperin e Ising² per il TM).

Nel lavoro [17], utilizzando il processo detto "folding" è stato possibile esprimere gradi di libertà del TM in termini di stati di bordo, identificando per il caso particolare $m = 2$ le interazioni tra le impurezze e il fluido Hall con quelle del problema Kondo a due canali. In particolare è stata evidenziata l'esistenza di un punto fisso per valori finiti delle costanti di accoppiamento che risulta essere instabile rispetto a interazioni asimmetriche dell'impurezza con i due strati. Di conseguenza tale stato fluisce in uno stato di vuoto senza "quasi-holes" e quindi con statistica Abelianiana.

In tale contesto si inserisce il lavoro [18] in cui viene mostrato che il modello ottenuto è equivalente al sistema (originariamente introdotto da Callan et all.) di due bosoni scalari senza massa accoppiati al bordo sia attraverso un potenziale periodico che da una interazione magnetica, la quale produce un effetto di rotazione insieme ad uno di scala tipici di un sistema dissipativo. Nel lavoro viene mostrato che i campi che diagonalizzano l'interazione tra i due strati possono essere espressi in termini dei campi originari proprio mediante una rotazione ed una trasformazione di scala direttamente determinate dall'ordine del twist (Z_2). Tale analogia viene sviluppata in dettaglio in termini degli stati di bordo.

Un altro interessante settore di applicazione della tecnica sviluppata è quello delle reti bidimensionali di giunzioni Josephson di superconduttori ad alta $T(c)$. Nel lavoro [19] viene mostrato che la m-riduzione può essere applicata con successo per descrivere l'intrappolamento di vortici frazionari nella regione di separazione tra grani superconduttivi ad alta $T(c)$, attraverso una modellizzazione di essa in termini di una catena lineare di giunzioni Josephson di tipo π . In tale contesto vengono in maniera naturale riprodotte le simmetrie non banali del parametro d'ordine. Nel lavoro [20], estendendo il procedimento di m-riduzione al caso discreto, viene provato che una tale configurazione, topologicamente non banale, può sviluppare ordine quantistico. In particolare viene mostrato che lo stato fondamentale è degenere, e i vari stati sono accessibili attraverso tecniche di variazione di flusso adiabatiche. Inoltre viene mostrato che tale degenerazione è strettamente legata alla presenza nello spettro di quasi-particelle con statistica non Abelianiana e che può essere eliminata nonperturbativamente attraverso tunneling di vortici [25]. Queste sono le caratteristiche essenziali per la realizzazione di un Qubit "protetto" a stato solido ed

è oggetto di studio in collaborazione con il Prof. P. Sodano dell'Università di Perugia [21]. Inoltre sono state completate le ricerche svolte in collaborazione con G. Niccoli della SISSA di Trieste [22], che riguardano lo studio degli stati di Jain sul toro con la tecnica di m-riduzione precedentemente sviluppata nel piano in [12] per $m=2$ e in [24] per m generico. I risultati di tale studio sono di fondamentale importanza nella comprensione del ruolo svolto dalle teorie conformi nella descrizione dei plateaux Hall per filling di Jain. Infatti in tale lavoro viene evidenziato che le due descrizioni già note in letteratura sono entrambe contenute nel modello: essi infatti appaiono come due settori diversi della teoria completa sul toro. Anche l'estensione delle traslazioni magnetiche a questi modelli twistati fornisce informazioni interessanti e sarà oggetto di prossime pubblicazioni. La conferma sperimentale dell'esistenza dei settori twistati è stata recentemente ottenuta da Deviatov et al. e descritta in cond-mat/0503478, dove la segnatura di un attraversamento di canali Hall (equivalente a condizioni twistate) è stata riconosciuta nell'andamento lineare della caratteristica I-V (a differenza dell'andamento non-lineare che si ottiene in presenza di un semplice effetto tunnel). In vista di possibili ulteriori conferme sperimentali ci si propone di dare una descrizione delle proprietà di trasporto di tali sistemi in cui si possa inequivocabilmente attribuire le proprietà di conduzione a quei portatori di carica che sono previsti nel modello e che lo caratterizzano (eccitazioni del settore twistato). L'osservazione sperimentale di tali difetti topologici apre una vasta gamma di possibili sviluppi dell'applicazione del metodo a una molteplicità di fenomeni fisici in cui la presenza di settori topologici non banali avrebbero conseguente teoriche e sperimentali notevoli. Su questi aspetti sono in preparazione diversi lavori. E' stata anche completata, ed è in corso di stampa, una rassegna comprensiva di gran parte dei risultati ottenuti nella descrizione dell'Effetto Hall con la tecnica dell'm-riduzione [26] negli ultimi anni a Napoli. Una ulteriore rassegna è in preparazione.

Riferimenti bibliografici

- [1] “*Algebre Lorentziane e Teorie di Stringa*” Tesi di Laurea in Fisica (1992), relatore A. Sciarrino.
- [2] “*Structure of a hyperbolic Lie algebra A_1 and of its representations*” in collaborazione con A. Sciarrino. Presented at the 19th International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics (ICGTMP 92), Salamanca, Spain, 29 Jun - 4 Jul 1992.
- [3] “*Vertex Operator realization and representations of hyperbolic Kac-Moody algebra $\hat{A}_1^{(1)}$* ” in collaborazione con A. Sciarrino. J. Phys. **A 26**, 1161-1177 (1993).
- [4] “*Relation between covariant and parafermionic construction of affine Kac-Moody algebras*” J. Phys. **A 26**, 3481-3487 (1993).
- [5] “*Structure of Lorentzian algebras and Conformal Field Theory*” in collaborazione con A. Sciarrino [arXiv:hep-th/9405192].
- [6] “*Realization of Borcherds algebras*” in collaborazione con A. Sciarrino. Int. J. Mod. Phys. **A 10**, 3921-3936 (1995).

- [7] “*Algebre Lorentziane e Simmetrie di Stringa*” Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica (1995), relatore A. Sciarrino.
- [8] “*From Vertex Operators to Calogero-Sutherland Models*” in collaborazione con A. Sciarrino. Nucl. Phys. **B 476**, 351-373 (1996) [arXiv:hep-th/9604158].
- [9] “ *W_k structure of $\widehat{SU}(2)$ -level k from covariant construction of Kac-Moody algebras*” Nucl. Phys. **B 527**, 717-737 (1998) [arXiv:hep-th/9702143].
- [10] “*Stress-tensor for parafermions from winding subalgebras of affine algebras*” Mod. Phys. Lett. **A 13**, 853-860 (1998) [arXiv:hep-th/9712031].
- [11] “*Conformal Field Theory on Z_k -Surfaces with exchange interactions*” in collaborazione con A. Sciarrino. Mod. Phys. Lett. **A 13**, 2863-2871 (1998).
- [12] “*A twisted conformal field theory description of the Quantum Hall Effect*” in collaborazione con G. Cristofano e G. Maiella. Mod. Phys. Lett. **A 15**, 547-555 (2000) [arXiv:cond-mat/9912287].
- [13] “*Tensor operators and Wigner-Eckart theorem for $U_{q \rightarrow 0}(sl(2))$* ” in collaborazione con A. Sciarrino. J. Math. Phys. **41**, 5735-5744 (2000).
- [14] “*A Conformal Field Theory description of the paired and parafermionic states in the Quantum Hall Effect*” in collaborazione con G. Cristofano e G. Maiella. Mod. Phys. Lett. **A 15**, 1679-1688 (2000).
- [15] “*Tunnelling effects in a brane system and quantum Hall physics*” in collaborazione con L. Cappiello, G. Cristofano e G. Maiella. Mod. Phys. Lett. **A 17**, 1281-1289 (2002) [arXiv:hep-th/0101033].
- [16] “*Paired states on a torus*” in collaborazione con G. Cristofano, G. Maiella e G. Niccoli. Nucl. Phys. **B 641**, 547-567 (2002) [arXiv:cond-mat/0204575].
- [17] “*Twisted CFT and bilayer Quantum Hall systems in the presence of an impurity*” in collaborazione con G. Cristofano e A. Naddeo. Phys. Lett. **B 571**, 250-259 (2003) [arXiv:hep-th/0212318].
- [18] “*A twisted conformal field theory description of dissipative quantum mechanics*” in collaborazione con G. Cristofano e A. Naddeo. Nucl. Phys. **B 679**, 621-631 (2004) [arXiv:hep-th/0306219].
- [19] “*A conformal field theory description of magnetic flux fractionalization in Josephson junction ladders*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e G. Niccoli. Eur. Phys. J. **B 49**, 83-91 (2006) [arXiv:hep-th/0404048].
- [20] “*Quantum order in Josephson junction ladders*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e P. Sodano. [Napoli DSF-T-09/2004 e INFN-NA-09/2004 preprint].
- [21] “*A conformal field theory for Josephson Junction arrays*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e P. Sodano. [Napoli DSF-T-04/2004 e INFN-NA-04/2004 preprint].

- [22] “*Jain states on a torus: an unifying description*” in collaborazione con G. Cristofano e G. Niccoli. JHEP **0406**, 056 (2004) [arXiv:hep-th/0406076].
- [23] “*Josephson junction ladders: a realization of topological order*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e P. Sodano. In “Quantum Computation in Solid State Systems”, P. Delsing, C. Granata, Y. Pashkin, B. Ruggiero, P. Silvestrini (Eds.), Springer Verlag Publishers, New York (2006), pp. 271-278.
- [24] “*A new rational conformal field theory extention of the full degenerate $W_{1+\infty}^{(m)}$* ” in collaborazione con G. Cristofano e G. Niccoli. DSF-T-37-2004, SISSA-73-2004-FM, Dec 2004. [arXiv:hep-th/0412085].
- [25] “*Topological order in Josephson junction ladders with Moebius boundary conditions*” - in collaborazione con G. Cristofano e A. Naddeo. Journal of Statistical Mechanics **P03006**, (2005) [arXiv:hep-th/0406076].
- [26] “*A unifying conformal field theory approach to the Quantum Hall Effect*” in collaborazione con G. Cristofano, G. Maiella, A. Naddeo e G. Niccoli - in “Recent Research Developments in Physics”-6:571, Transworld Research Network, Kerala, India (2005).
- [27] “*Topological order and magnetic flux fractionalization in Josephson junction ladders with Moebius boundary conditions: a twisted CFT description*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e G. Niccoli - in “Proceedings of PI-2005-8th International Conference on Path Integrals. From Quantum Information to Cosmology, Prague, Czech Republic, 6-10 June 2005”, C. Burdik, S. Posta, O. Navratil (Eds.), JINR Publishing Department, Dubna (2005), pp. 1-18 [arXiv:hep-th/0507238].
- [28] “*Transport properties in bilayer quantum Hall systems in the presence of a topological defect*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e G. Niccoli - Talk given at 10th Training Course in the Physics of Correlated Electron Systems and High-Tc Superconductors, Vietri sul Mare, Italy, 3-14 Oct 2005. In AIP Conf.Proc. 846: 275-284, 2006 e in Salerno 2005, Physics of highly correlated electron systems, pp. 275-284 [arXiv:hep-th/0606252].
- [29] “*CFT description of the Fully Frustrated XY model and phase diagram analysis*” - in collaborazione con G. Cristofano, P. Minnhagen, A. Naddeo e G. Niccoli. Journal of Statistical Mechanics **0611:P009**, (2006) [arXiv:hep-th/0606170].
- [30] “*New Results on the Phase Diagram of the FFXY Model: A Twisted CFT Approach*” in collaborazione con G. Cristofano, P. Minnhagen, A. Naddeo e G. Niccoli - ”, Proceeding at ”Path Integrals -New Trends and Perspectives International Conference”, Max-Planck-Institut, Dresden, Germany (2007), in print in a book by World Scientific, Singapore [arXiv:hep-th/0711.2898].
- [31] “*Fully frustrated Josephson junction ladders with Moebius boundary conditions as topologically protected qubits*” in collaborazione con G. Cristofano, A. Naddeo e G. Niccoli. in press in Phys. Lett. **A.**,(2007) [arXiv:quant-ph/0711.4245].